

THESIS / THÈSE

DOCTEUR EN SCIENCES

Amélioration de la production halieutique des trous traditionnels à poissons (whedos) du delta de l'Ouémé (sud Bénin) par la promotion de l'élevage des poissons-chats *Clarias gariepinus* et *Heterobranchus longifilis*

Imorou Toko, Ibrahim

Award date:
2007

Awarding institution:
Université de Namur

[Link to publication](#)

General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal ?

Take down policy

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.



Facultés
Universitaires
Notre-Dame
de la Paix

Amélioration de la production halieutique des trous
Traditionnels à poissons (whedos) du delta de
l'Ouémé (sud Bénin) par la promotion de
l'élevage des poissons-chats *Clarias gariepinus*
et *Heterobranchus longifilis*

Facultés des Sciences

DEPARTEMENT DE BIOLOGIE

Dissertation présentée par
Ibrahim IMOROU TOKO
En vue de l'obtention du grade de
Docteur en Sciences



2007



Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix – Namur

Facultés des Sciences

Amélioration de la production halieutique des trous
traditionnels à poissons (whedos) du delta de l'Ouémé (sud Bénin) par
la promotion de l'élevage des poissons-chats *Clarias gariepinus* et
Heterobranchus longifilis

Dissertation présentée par

Ibrahim IMOROU TOKO

En vue de l'obtention du grade de

Docteur en Sciences

Composition du jury :

Professeur Patrick Kestemont, Promoteur, FUNDP

Professeur Emile D. Fiogbé, Co-Promoteur, UAC

Professeur Jean-Claude Micha, FUNDP

Professeur Marcel Rémon, FUNDP

Docteur Marc Legendre, Directeur de recherche, IRD Montpellier

2007

© Presses universitaires de Namur & Ibrahim IMOROU TOKO
Rempart de la Vierge, 13
B - 5000 Namur (Belgique)

Toute reproduction d'un extrait quelconque de ce livre,
hors des limites restrictives prévues par la loi,
par quelque procédé que ce soit, et notamment par photocopie ou scanner,
est strictement interdite pour tous pays.

Imprimé en Belgique
ISBN : 978-2-87037-579-2
Dépôt légal: D / 2007 / 1881 / 38

A

*Arafat, Imen et
Carine leur maman*

Remerciements

Au terme de ces recherches, il nous est agréable de remercier très sincèrement toutes les personnes morales ou physiques qui, de près ou de loin, y ont contribué.

Je pense :

A la Coopération Universitaire au Développement, (CUD / CIUF) qui à travers son Programme Actions-Nord 2003-2007 a accepté de m'accorder une bourse en vue de réaliser cette thèse.

Aux Facultés Universitaires Notre-Dame de la Paix (FUNDP) de Namur, pour avoir accepté mon inscription et m'avoir soutenu aussi bien financièrement que techniquement dans l'aboutissement heureux de ce document.

Au Centre Béninois de Recherches Scientifiques et Techniques (CBRST), pour avoir financé à travers l'Unité de Recherche sur les Zones Humides (URZH) certains chapitres de cette thèse.

Au **Professeur Patrick Kestemont**, Responsable de l'Unité de Recherche en Biologie des Organismes (URBO – FUNDP), Promoteur de cette thèse, pour m'avoir soutenu aussi bien dans la recherche de financement que dans l'affinement de mes protocoles de recherches, de même que la valorisation scientifique et technique des données obtenues. C'est aussi le moment de saluer vos grandes capacités d'écoute et d'interprétation qui vous pousse toujours vers la perfection scientifique. Je vous rends en plus hommage pour l'intérêt et la confiance que vous m'avez accordé et croyez-moi, je ne vous serai jamais assez reconnaissant.

Au Professeur Emile D. Fiogbé, Enseignant Chercheur à la Faculté des Sciences et Techniques (FAST) de l'Université d'Abomey-Calavi (UAC), Responsable de l'Unité de Recherche sur les Zones Humides (URZH), Co-promoteur de cette thèse, pour m'avoir soutenu localement aussi bien sur le plan administratif, technique que scientifique. Je vous sais particulièrement gré pour votre motivation à l'aboutissement heureux de ces recherches en alimentation piscicole au Bénin d'une part, et dans les whedos d'autre part.

Aux Professeurs Pierre Devos, Jean-Pierre Descy et particulièrement Jean-Claude Micha, de l'URBO, pour vos conseils et votre intérêt au développement de l'aquaculture et à l'aménagement des zones humides, particulièrement en Afrique.

Aux membres du jury qui ont bien voulu sacrifier leurs occupations afin d'évaluer cette thèse tout en me faisant profiter de leur expérience.

A tous les membres de l'URBO pour leur franche collaboration, notamment Gisèle, Robert, Gersande, Virginie, Néila, Emilie, Jessica, Anne-Laure, Louise-Marie, Frédéric, Neil, Tu, Philippe, Stéphanie, Stéphane, Laurent, François, Bruno, Serge-Eric, Victor, Marie-Aline, Yves, Marie-Claire, Annick, Karine, Amélie, André, etc. A Gisèle, je redis merci pour la chaleur de ton accueil et tes sacrifices pour notre intégration aussi bien socialement que gastronomiquement.

Je ne manquerai pas d'exprimer mes vives reconnaissances aux anciens membres de l'URBO avec qui j'ai partagé de bons moments en Belgique. Il s'agit des Docteurs Bassirou Alhou, Leatitia Nyinawamwiza, Pascal Isumbisho, Hugo Sarmento, Jean-Daniel Mbega, etc.

A Laurence Vieslet, représentante de la CUD aux FUNDP, qui a su gérer ma bourse et mes différents séjours en alternance.

A tous les membres du Département de Zoologie et Génétique de la FAST / UAC, en particuliers aux Professeurs Sakiti, Akogbeto, Agbangla, Daïnou, et aux docteurs Gelus, Gbankoto, Acodji, Ibikounlé, Adité, Abou, Sossoukpè, etc. pour leurs collaborations d'une manière ou d'une autre.

A tous les stagiaires passés et présents de l'URZH qui ont contribué aux différents manipulations et essais d'élevage. Je pense sincèrement à Bernard, Herman, Kévin, Eugène, Epiphane, Norbert, et à tous ceux qui nous viennent du Lycée Agricole Médji de Sékou.

Aux agents de la Directions des Pêches, notamment à Bruno Koukpodé qui a beaucoup contribué à mon intégration dans la Vallée de l'Ouémé.

Au Professeur Philippe Lalèyè, Responsable du Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Aquaculture de la Faculté des Sciences Agronomiques (FSA/UAC) pour m'avoir facilité l'analyse de certaines de mes échantillons. Je remercie également le Dr Antoine Chikou du même laboratoire pour son amitié et son assistance lors de la finalisation de cette thèse. A tous les autres membres de ce laboratoire (Elie, Charles, Simon, Pierre, etc.) je dis merci pour tout.

A tous les pêcheurs du village de Gangban, et particulièrement à Mr Joseph Awadji, Chef du village, et sa famille pour avoir facilité mes séjours à Gangban et mes recherches dans les whedos depuis 1999. Que Dieu vous bénisse.

A tous les amis connus en Belgique et sans qui mes séjours seraient souvent tristes. Je pense à Idi, Ludovic et Isabelle, Adamou, Ernest, Shifaou, Diane, Daouda, Bijou, Bernard, Cyril, Moustapha, Jean-Claude, Angélique, Louisette, Smith, Thu Van, etc.

A tous mes frères et amis au Bénin qui m'ont aidé d'une façon ou d'une autre. Je pense à Alexandre, Roufaï, Dougnon (Jacques et Philibert), Ichaou, Ismaël, Saïd, Nourou, Inoussa, Aliou, Ousmane, Yaya, Moussiliou, Moutasser, Farid, Jean-Claude, François, Lazare, Faustin, Robert, Séverin, etc.

A mes parents pour tous les sacrifices qu'ils ne cessent de consentir pour mes études et ma réussite professionnelle, je pense tout particulièrement à :

Mon père et à ma mère qui ont toujours cru en moi tout en sachant que tous les arbres de la forêt ne produisent pas la même saison. J'ai bien envie de vous dire maintenant chers parents, que celui que vous avez planté a maintenant fleuri, il ne reste plus que le temps que nous attendrons pour la cueillette.

Au Professeur Brice Sinsin de l'UAC qui m'a toujours soutenu financièrement et matériellement dans la réalisation de plusieurs de mes objectifs scientifiques. Je ne vous serai jamais assez reconnaissant.

A tous mes frères et sœurs, merci pour le soutien.

A ma belle-famille Bonou, pour son assistance constante.

A Monsieur Orou-Toko Y. Roger et son épouse, je dis également merci de m'avoir soutenu depuis mes études secondaires jusqu'à ce jour.

Enfin merci à toi Carine, mon épouse, pour avoir supporté mes multiples séjours loin de toi, et qui malgré la séparation géographique a su tout donner pour me soutenir dans cette épreuve.

FACULTES UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX
FACULTE DES SCIENCES
RUE DE BRUXELLES, 61, B-5000 NAMUR, Belgique

**« Amélioration de la production halieutique des trous traditionnels à poissons (whedos)
du delta de l'Ouémé (sud Bénin) par la promotion de l'élevage des poissons-chats
Clarias gariepinus et *Heterobranchus longifilis* »**

Par Ibrahim IMOROU TOKO

Résumé

La présente étude s'inscrit dans une approche perspective d'augmentation de la production halieutique nationale par l'amélioration des techniques piscicoles déjà existantes, notamment les trous traditionnels à poissons (whedos), dans le delta du fleuve Ouémé (sud Bénin). Les premières approches de nos investigations montrent que, sur le plan socio-économique, l'augmentation de la productivité des whedos s'avère nécessaire pour l'amélioration des conditions de vie des pêcheurs dans la Vallée de l'Ouémé. En effet, avec le mode actuel de gestion des whedos, le revenu net par hectare et par an peut varier entre 182.000 et 572.000 Fcfa. Il représente au niveau actuel environ 27 % des revenus totaux de la pêche par ménage. Cependant, avec la mise en charge et l'alimentation artificielles d'espèces piscicoles adaptées, telles que les poissons-chats *Clarias gariepinus* et *Heterobranchus longifilis*, des rendements annuels de 3 à 36 t ha⁻¹ peuvent être obtenus en fonction des densités d'élevage (respectivement de 4 à 24 poissons m⁻³). Les revenus nets provenant d'une telle gestion sont assez importants et peuvent varier en fonction de la densité de mise en charge, entre 1.664.000 et 31.675.000 Fcfa (respectivement de 4 à 24 poissons m⁻³). Ainsi, bien que la densité de 10,5 poissons m⁻³ soit apparue comme étant idéale pour l'optimisation des performances zootechniques, la recherche du profit maximal nous amène à suggérer pour la promotion de l'élevage de *C. gariepinus* dans les whedos, l'utilisation des densités plus élevées (environ 24 poissons m⁻³) afin de maximiser leurs capacités de production. Par ailleurs, la nécessité de production massive d'alevins de ces poissons-chats s'est avérée indispensable pour la promotion effective de leur élevage en whedos. A cet effet, nous avons évalué quelques aspects de l'élevage larvaire de ces espèces (âge de sevrage et densité de stock), de même que les effets zootechniques et nutritionnels de différents régimes à base des tourteaux de soja et de coton aussi bien chez les larves que les juvéniles. Il ressort de ces études que le sevrage des larves de *H. longifilis*, maintenues à des densités de 10 à 25 individus L⁻¹, est nécessaire entre les jours 5 et 8 post-éclosion afin d'optimiser aussi bien les performances zootechniques qu'économiques de l'élevage. D'autre part, le tourteau de soja s'est avéré plus efficace que celui de coton aussi bien chez les larves que les juvéniles de ces poissons-chats. Cependant, la présence des facteurs antinutritionnels, notamment l'acide phytique, limite les niveaux d'utilisation de ces tourteaux dans les régimes, étant donné que chez les juvéniles des réductions significatives des teneurs corporelles en minéraux, notamment en P, Zn et Mn ont été observées avec les régimes contenant jusqu'à 60 % de ces tourteaux.

Dissertation présentée en vue de l'obtention du grade de Docteur en Sciences Biologiques
Décembre 2007
URBO - Unité de Recherche en Biologie des Organismes
Promoteur : Prof. Patrick Kestemont

FACULTES UNIVERSITAIRES NOTRE-DAME DE LA PAIX
FACULTE DES SCIENCES
RUE DE BRUXELLES, 61, B-5000 NAMUR, Belgique

« Yield enhancement in traditional fish ponds (whedos) in the Ouémé delta (South Benin) by stocking and rearing African catfishes *Clarias gariepinus* and *Heterobranchus longifilis* »

By Ibrahim IMOROU TOKO

Abstract

The present study aims to appraise the perspectives to increase the national fish production by improving the existing fish production systems, as the traditional fish ponds (whedos), in the Ouémé River delta (southern Benin). The first approaches of our investigations show that, on the socio-economic level, the increase in the productivity of the whedos seems necessary to improve the livelihood conditions of the fishermen in the Ouémé Valley. Indeed, with the current mode of management of these whedos, we have observed that the net income per hectare can vary between 182,000 and 572,000 Fcfa. It represents, at the current level, approximately 27 % of the total incomes of fishing per household. However, by artificial stocking with adapted fishes, such as the catfishes *Clarias gariepinus* and *Heterobranchus longifilis*, and feeding, the annual outputs from 3 to 36 t ha⁻¹ can be reached according to the stocking densities (from 4 to 24 fish m⁻³, respectively). The nets incomes generated from such management are rather important and can vary according to the stocking densities from 1,664,000 to 31,675,000 Fcfa (from 4 to 24 fish m⁻³, respectively). Although the density of 10.5 fish m⁻³ seemed ideal for the optimization of zootechnical parameters, the search of maximum profit leads us to suggest the higher densities (approximately 24 fish m³) for rearing African catfish in the whedos. Moreover, to improve the knowledge of these catfishes fingerlings production, we evaluated some aspects of the larval rearing (weaning time and stocking density), just as the nutritional effects of various diets, based on soybean or cottonseed meals, in the larvae as well as in the juveniles. It arises from these studies that, the weaning of *H. longifilis* larvae maintained at the densities from 10 to 25 L⁻¹, is necessary between days 5 and 8 posthatch in order to optimize the zootechnical and economical performances of the rearing. Furthermore, we have observed that soybean meal was more effective than cottonseed meal in the larvae as well as in the juveniles. However, the presence of antinutrients factors, particularly the phytic acid, limit the levels of inclusion of these oilseed meals in the diets, since in juveniles, significant reductions of the body minerals contents, particularly P, Zn and Mn, were observed with the diets containing up to 60 % of these plants ingredients.

Ph. D. thesis in Biology

December 2007

URBO – Research Unit in Organism Biology

Advisor: Prof. Patrick Kestemont

Listes des abréviations

ARN – Acide Ribonucléique

BOAD – Banque Ouest Africaine de Développement

CeRPA – Centre Régional pour la promotion de l'Agriculture

DANIDA – Danish International Development Assistance

FAD – Fonds Africain de Développement

FAO – Food and Agriculture Organization

FAST – Faculté des Sciences et Techniques

FED – Fonds Européen de Développement

FENU – Fonds d'Equipement des Nations Unies

FIDA – Fonds International de Développement Agricole

FSA – Faculté des Sciences Agronomiques

GTZ - Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit

IBCG – Industrie Béninoise des Corps Gras

INRAB – Institut National pour la Recherche Agronomique au Bénin

JICA – Japan International Cooperation Agency

LHA – Laboratoire d'Hydrobiologie et d'Aquaculture

MAEP – Ministère de l'Agriculture, de l'Elevage et de la Pêche

ONG – Organisation Non Gouvernementale

PADPPA - Programma d'Appui au Développement de la Pêche Participative Artisanale

PAZH – Programme d'Aménagement des Zones Humides

PGIPAP - Programme de Gestion Intégrée des Plantes Aquatiques Proliférantes

PIB – Produit Intérieur Brut

PNUD – Programme des Nations Unies pour le Développement

PVC – Polyvinyl Chloride

RGPH – Recensement Général des Personnes et de l'Habitat

SHB – Société des Huileries du Bénin

UAC – Université d'Abomey-Calavi

URZH – Unité de Recherche sur les Zones Humides

Table des matières

1. INTRODUCTION GENERALE

1.1. Contexte et justificatif de la recherche.....	1
1.2. Objectif et organisation de la thèse.....	5
1.3. Potentialités piscicoles du Bénin.....	6
1.3.1. Les potentialités hydriques et les structures d'élevage.....	6
1.3.2. Les espèces piscicoles.....	8
1.3.3. Les sous-produits alimentaires et autres additifs utilisables en pisciculture.....	9
1.4. Historique et éléments zootechniques de l'élevage de <i>Clarias</i> et <i>Heterobranchus</i>	14
1.4.1. Présentation et potentialités de croissance des espèces.....	14
1.4.2. Historique et état actuel de leur élevage.....	15
1.4.3. Reproduction en captivité.....	16
1.4.4. L'élevage larvaire et le prégrossissement.....	17
1.4.5. Les besoins nutritionnels et l'alimentation.....	19
1.5. Problématique de la recherche.....	20
1.6. Références.....	23

2. LES WHEDOS DE L'OUEME : GENERALITES ET PERSPECTIVES

D'ELEVAGE DES POISSONS-CHATS

2.1. Résumé.....	33
2.2. Overview and socioeconomic valuation of the traditional fish ponds (whedos) in Oueme delta (West Africa, Benin).....	37
2.3. Fisheries management and water quality of the "whedos" (traditional fish ponds, South Benin) in regard to fish stock.....	57
2.4. Rearing of African catfish (<i>Clarias gariepinus</i>) and vundu catfish (<i>Heterobranchus longifilis</i>) in traditional fish ponds (whedos): effect of stocking density on growth, production and body composition.....	77
2.5. Notes complémentaires sur l'effet des densités élevées de stockage sur la croissance, la production et la rentabilité économique de l'élevage de <i>C. gariepinus</i> en whedos.....	91
2.5.1. Contexte et objectif.....	91
2.5.2. Méthodologie.....	91
2.5.3. Résultats et interprétation.....	92

3. QUELQUES ASPECTS ZOOTECHNIQUES ET NUTRITIONNELS DE L'ALEVINAGE ET DU PREGROSSISSEMENT DE *CLARIAS GARIEPINUS* ET *HETEROBRANCHUS LONGIFILIS*

3.1. Résumé.....	97
3.2. Determination of appropriate age and stocking density of vundu larvae, <i>Heterobranchus longifilis</i> (Valenciennes 1840) at the weaning time.....	101
3.3. Use of soybean and cottonseed meals in practical diets for vundu catfish (<i>Heterobranchus longifilis</i>) larvae during weaning: effect on growth, survival and body mineral content.....	117
3.4. Mineral status of African catfish (<i>Clarias gariepinus</i>) fed diets containing graded levels of soybean or cottonseed meals.....	131
3.5. Growth, feed efficiency and body mineral composition of juvenile vundu catfish (<i>Heterobranchus longifilis</i> , Valenciennes 1840) in relation to various dietary levels of soybean or cottonseed meals.....	151

4. DISCUSSION GENERALE, CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

4.1. Les whedos du delta de l'Ouébé : importance socio-économiques et perspectives de développement d'une filière de production piscicole.....	171
4.2. Contribution à l'optimisation de la production d'alevins de <i>C. gariepinus</i> et <i>H. longifilis</i>	175
4.3. Eléments de réflexion pour la valorisation des acquis de la recherche.....	181
4.4. Références.....	183

ANNEXES.

1. INTRODUCTION GENERALE

1.1. Contexte et justificatif de la recherche

Situé dans le Golfe du Guinée en Afrique de l'Ouest entre 6°15' et 12°25' de latitude nord et entre 0°45' et 4°00' de longitude est (Fig. 1), le Bénin possède une façade maritime longue de 120 km prolongée par un étroit plateau continental couvrant 3.100 km² environ jusqu'à l'isobathe 200 m. Le pays est également doté d'un dense réseau hydrographique constitué de cours d'eau permanents ou temporaires. Cependant, l'activité de pêche est assez limitée (environ 50.000 tonnes ha⁻¹, soit 2 % du PIB) et environ 60.000 pêcheurs la pratiquent de manière industrielle ou artisanale, aussi bien sur les plans d'eaux continentaux que sur la côte maritime (Kebe & Tallec, 2006).

Au Bénin, la pêche industrielle maritime est pratiquée par de petites unités (16 à 25 m de longueur hors-tout) appartenant à des sociétés privées basées à Cotonou. La flottille, qui était composée de 7 chalutiers-crevettiers en 1996, en comptait 12 en 2006. Elle exploite la même frange côtière des 3 à 5 miles marins que la pêche piroguière. Avec une moyenne annuelle de 1.064 tonnes en 2006, la pêche industrielle maritime ne représentait que 11 % des captures totales en milieu marin. Cependant, l'étude des stocks du plateau béninois indiquait qu'une prise maximale équilibrée (PME) de 8.000 à 10.000 tonnes par an est supportable avec le niveau actuel de l'effort (Direction des Pêches, 2007). Les captures débarquées sont constituées de sciaenidae, sphyraenidae, polynemidae, clupeidae, carangidae, sparidae, lutjanidae, scombridae et penaeidae. La flotte artisanale maritime est par contre composée d'embarcations monoxyles importées du Ghana. On dénombrait en 2006 près de 4.345 pêcheurs artisanaux utilisant au total environ 825 pirogues. Certaines sont équipées de conteneurs isothermes amovibles ou fixes leur permettant de prolonger leur durée en mer. Les pêcheurs utilisent principalement les filets dormants, filets flottants, filets à requin, sennes de plage, sennes tournantes, palangres. La production de la pêche artisanale maritime qui était de 6.344 tonnes en 1995, a varié en dents de scie et était estimée à environ 9.000 tonnes en 2006 (Fig. 2). Les périodes favorables à la pêche sur le plateau continental s'étendent d'octobre à février et de juillet à septembre.

La pêche continentale occupe trois catégories socioprofessionnelles (près de 57.000 pêcheurs, 7.000 mareyeuses et 6.000 transformatrices) auxquelles elle procure des emplois spécifiques. Par ailleurs, elle fait vivre en amont et en aval plus de 300.000 personnes dont les vendeurs de matériel de pêche, les fabricants de pirogues, etc. (Kebe & Tallec, 2006). Des 29.550 tonnes de poisson produites par les eaux intérieures béninoises en 2006, plus de 90 % proviennent des lagunes et lacs côtiers. Les captures commerciales sont composées de plusieurs espèces mais les cichlidae, clupeidae et crustacés représentent 85 % de la production totale débarquée. Les engins et techniques de capture sont diversifiés. On rencontre notamment le filet lancé ou épervier, le filet fixe ou maillant, divers filets traînés ou sennes, les nasses (nasses à poisson, nasses à crevette), les lignes, les palangres appâtées ou non, les balances à crabe ou carrelets.

L'analyse de l'évolution annuelle de la production halieutique durant cette dernière décennie (Fig. 2) montre que le potentiel de croissance émanant de l'exploitation des ressources naturelles est limité. Ceci est la conséquence d'une exploitation poussée des plans d'eaux naturels, notamment par l'utilisation excessive des engins et techniques

de pêche prohibées. En 2006, la production halieutique nationale était estimée à environ 40.000 tonnes (y compris la pisciculture) tandis que la demande nationale était supérieure à 90.000 tonnes (Direction des Pêches, 2007). Pour combler ce déficit, le pays recourt à l'importation de poissons congelés, dont le volume a dépassé la production nationale à partir de 2005 (Fig. 2). Il devient donc indispensable de promouvoir le développement de l'aquaculture afin, non seulement, d'assurer une plus grande disponibilité des produits de pêche, mais aussi de diminuer l'exploitation des ressources halieutiques naturelles et l'importation des produits congelés qui crée une dépendance dangereuse vis-à-vis de l'extérieur.



Fig. 1. Le Bénin et son réseau hydrographique (d'après Adam & Boko, 1993).

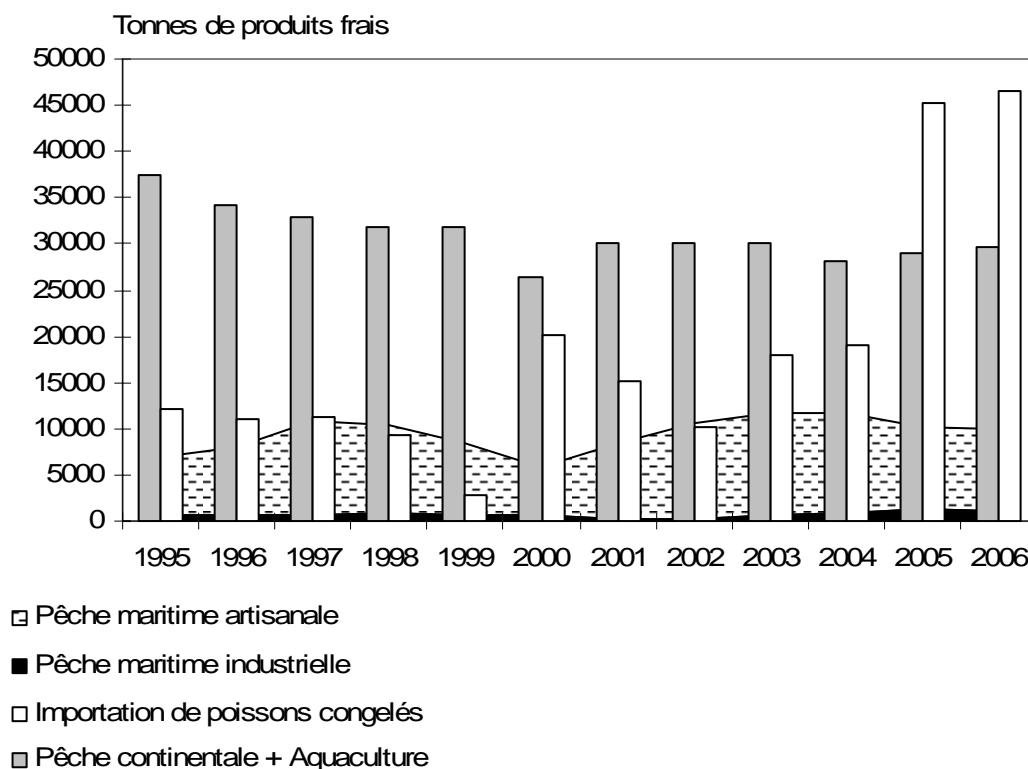


Fig. 2 : Statistique des productions halieutiques et l'importation des poissons congelés au cours de cette décennie (d'après les données statistiques de la Direction des Pêches, 2007).

La pisciculture de type classique introduite au Bénin dans les années 1958-1960 a peu évolué. Les tentatives de relance de l'élevage intensif du tilapia en enclos et en étangs, menées de 1979 à 1987 par le Centre de Développement de la Pisciculture de Godomey, ont échoué. Plus récemment en 1995, le gouvernement a bénéficié d'un prêt auprès de la Banque Ouest Africaine de Développement (BOAD) pour la construction à Tohounou (Bopa) d'une station d'alevinage moderne dotée d'une fabrique d'aliment. L'objectif était de fournir aux quelques 450 pisciculteurs identifiés à l'époque, des intrants de qualité (alevins, provendes) et à un coût raisonnable. Malgré ces investissements et l'aide des partenaires au développement dans le domaine de la pêche et de l'aquaculture (Tableau 1), la pisciculture classique (en étang contrôlé avec alimentation artificielle) a connu très peu de succès. Cependant, la pisciculture traditionnelle notamment en « acadja » (parc à branchages) ou en « whedos » (trous à poissons) attire de plus en plus de pêcheurs qui commencent à s'y donner à plein temps.

Tableau 1 : Investissement dans le secteur des pêche et aquaculture au Bénin de 1978 à 2006.

Année	Organismes bailleurs	Nature des aides	Montants (USD)	Domaine d'activités et bénéficiaires
1978-1979	FED	Subvention	3.500.000	Développement de la pisciculture lagunaire
1979-1980	FENU-PNUD	Crédit	150.000	Crédit aux coopératives de pêcheurs marine artisans
1982	BOAD-FAO	Crédit	600.000	Crédit aux coopératives de pêcheurs marine artisans
1982	FENU-PNUD	Subvention	755.000	Formation des pêcheurs
1982	Budget national	Subvention	80.000	Formation des pêcheurs
1982-1984	FAO	Subvention	50.678	Formation et expérimentation en pêche maritime
1982-1985	FAO-FENU-FVDNUE	Subvention	330.000	Création de coopératives des femmes transformatrices (fumage)
1983-1989	DANIDA-FAO	Subvention	2.900.000	Développement intégré de la pêche maritime artisanale
1987-1999	GTZ	Subvention	2.500.000	Promotion de la pêche lagunaire
1990	Japon (JICA)	Don	¥295.000.000*	Fourniture de matériel de pêche
1995	BOAD- Budget national	Prêt	1.200.000	Création d'une station d'alevinage
1996	Japon (JICA)	Don	¥ 382.000.000*	Fourniture de matériel de pêche
1998-2000	Pays-bas	Subvention	2.500.000	Programme d'Aménagement des zones humides (PAZH)
2003 - 2011	FIDA-FAD- Budget national	Crédit Don Subvention	26.500.000	Programma d'appui au développement de la pêche participative artisanale (PADPPA)
2005-2011	BAD Budget national	Crédit Subvention	2.850.000	Programme de gestion intégrée des plantes aquatiques proliférantes (PGIPAP)

*¥ = Yen (francs japonais).

En effet, plus de 3.500 pêcheurs s'adonnent à la pratique du « acadja » sur la lagune de Porto-Novo et le lac Nokoué. C'est un système traditionnel de production qui consiste à créer un habitat artificiel fait de branchages disposés dans l'eau. A l'intérieur du parc, le poisson se sent protégé des prédateurs et y trouve de bonnes conditions d'alimentation à partir du périphyton qui se développe sur la surface immergée des branchages. Le rendement du parc acadja varie de 1,5 à 15,5 t ha⁻¹ an⁻¹ en fonction de la densité des branchages et de l'efficacité de la pêche (Lalèyè *et al.*, 2003). Les « whedos » ou trous à poissons sont une autre forme de pisciculture traditionnelle imaginée par les pêcheurs continentaux pour tirer profit de la succession des crues et décrues dans les plaines d'inondations. Ces trous creusés sur les plaines d'inondations piègent les poissons qui effectuent une migration latérale au moment de la crue. En

1970, Welcomme (1971) estimait à plus de 1.500 tonnes la production annuelle des 1.095 ha de trous à poissons de la vallée de l'Ouémé.

Cependant, dans le contexte actuel de faiblesse de la production nationale, l'amélioration du mode actuel de gestion de ces whedos par le biais de la mise en charge et de l'alimentation artificielle d'espèces piscicoles bien adaptées telles que *Clarias gariepinus* et *Heterobranchus longifilis* revêt une importance capitale. C'est dans ce contexte que la présente étude a été réalisée.

1.2. Objectifs et organisation de la thèse

La présente étude s'inscrit dans une approche perspective de développement d'une filière de production piscicole dans les trous traditionnels à poissons (whedos) du delta de l'Ouémé. Il s'agit de déterminer les modalités d'élevage des poissons-chats *Clarias gariepinus* et *Heterobranchus longifilis* dans les whedos d'une part, et les perspectives de développement d'une filière de production commerciale de juvéniles de ces espèces d'autre part.

La thèse est organisée en quatre grandes parties.

La première partie intitulée « Introduction générale » rappelle le contexte de l'étude de même que la problématique du sujet et les objectifs poursuivis.

Dans la deuxième partie, nous avons étudié plus spécifiquement l'importance socio-économique des whedos dans le delta de l'Ouémé (Chapitre 2.2), leurs caractéristiques physico-chimiques et biologiques (Chapitre 2.3) et les modalités d'élevage des poissons-chats *C. gariepinus* et *H. longifilis*, notamment la détermination des densités optimales de mise en charge (Chapitres 2.4 et 2.5).

Au regard de la faisabilité de l'élevage de ces poissons-chats dans les whedos, la production commerciale de juvéniles de ces poissons devient la condition de base pour une promotion efficace de leur élevage en whedos. La troisième partie de cette thèse s'inscrit donc dans une approche de détermination des besoins zootechniques, alimentaires et nutritionnels durant l'élevage larvaire de ces espèces (Chapitres 3.2 et 3.3) et la phase de prégrossissement (Chapitres 3.4 et 3.5). En effet, l'identification des niveaux optimaux d'incorporation des tourteaux locaux, principalement ceux du soja et du coton, dans les régimes alimentaires pour *Clarias* et *Heterobranchus*, de même que l'évaluation des facteurs qui limiteraient leurs performances nutritionnelles, pourraient permettre de mettre au point des régimes adaptés aussi bien à ces espèces qu'aux réalités socio-économiques de leur production dans nos pays peu développés. Le cas échéant, ces régimes permettront de développer une production commerciale de juvéniles de poissons-chats au Bénin.

Dans la quatrième partie de ce travail, nous synthétisons les résultats obtenus tout en les discutant en fonction de l'objectif de l'étude, puis nous tirons les conclusions pertinentes et proposons des stratégies de valorisation des acquis de cette thèse au niveau du développement rural, notamment celui de la vallée de l'Ouémé.

1.3. Potentialités piscicoles du Bénin

1.3.1. Les potentialités hydriques et les structures d'élevage

Le potentiel hydrique du Bénin est assez important et constitué de plans d'eaux permanents en surface (lacs, lagunes et fleuves) et de grandes réserves d'eaux souterraines qui par endroits affleurent (Bopa, Zogbodomey, Dangbo, Taneka-koko, Tanougou, Koudou, etc.), inondant ainsi de vastes plaines ou constituant des ébauches de cours d'eaux temporaires ou permanents. Cette ressource en eau disponible est estimée à environ 15 milliards de m³ dont 13 milliards en surface et 1,8 milliards d'eaux souterraines (FAO, 2003), est fortement influencée par les variations climatiques.

En effet, le Bénin est subdivisé en deux zones climatiques principales (Fig. 3). Dans le sud du pays, le climat est de type subéquatorial caractérisé par une forte humidité, une température élevée et plus ou moins constante. De 1953 à 2004, les moyennes des minima et des maxima de l'humidité relative dans cette zone, notamment à Cotonou, sont respectivement de 70 % et 94 % (ASECNA, 2004). Pour la même période, les températures moyennes mensuelles varient de 25,6 °C en août à 28,9 °C en mars avec une moyenne annuelle de 27,3 °C. Cette zone est caractérisée par deux saisons de pluies d'inégale importance dont la plus grande s'étale d'avril à juillet (209 mm d'eau en moyenne) et la plus petite de septembre à novembre (89 mm d'eau en moyenne), et deux saisons sèches dont la plus grande va de décembre à mars et la plus petite d'août à septembre. Les maxima de pluies sont généralement obtenus en juin pour la grande saison des pluies (356 mm) et en octobre pour la petite (126 mm). Au nord du pays, la tendance tropicale à deux saisons s'affirme. Les pluies se répartissent d'avril à octobre (156 mm d'eau en moyenne) et la saison sèche, plus longue, de novembre à début mai (Adam & Boko, 1993). Les maxima de précipitations sont observés aux mois d'août et de septembre. Les écarts de températures, fort élevés, peuvent atteindre 35 °C. Cependant, le nord-ouest du pays bénéficie d'un "climat atacorien" caractérisé par des températures plus fraîches dues à l'altitude (200 m en moyenne) et des orages plus fréquents. Cette région, la plus élevée du pays, fait partie des régions les plus arrosées où il pleut pratiquement d'avril à octobre avec une pluviométrie de 1.300 mm environ par an (Adam & Boko, 1993). Outre l'importance de la réserve en eau, le pays est caractérisé par d'innombrables vallées et de vastes plaines d'inondations favorables aussi bien à la pisciculture extensive, semi intensive qu'intégrée.

En effet, dans les vallées, la construction d'étangs classiques vidangeables et leur approvisionnement en eau par gravité ou pompage favorise le développement des systèmes semi-intensifs de production piscicole. Par contre, dans les plaines d'inondations des fleuves et lacs du sud Bénin s'est développée plutôt une forme particulière d'élevage dans des trous creusés manuellement ou mécaniquement appelés « whedos ». Les whedos sont des tranchées creusées dans la plaine d'inondation des fleuves et lacs du Sud-Bénin et dans lesquelles les poissons restent emprisonnés après le retrait des eaux de crue. On note de nos jours une expansion généralisée de ces trous dans toute la vallée de l'Ouémé (Sud Bénin) où déjà en 1970 on comptait plus de 1000 trous couvrant environ 13 % du delta de l'Ouémé (Welcomme, 1975). En effet,

chaque année, la plaine de la vallée de l'Ouémé connaît une inondation qui dure environ six mois (juillet à décembre). A la décrue (décembre à juin), les whedos ne font généralement l'objet que d'une seule exploitation par saison. Il faut noter que déjà en février les $\frac{3}{4}$ des whedos de la Vallée de l'Ouémé sont souvent exploités, et les trous abandonnés sont progressivement envahis par la végétation aquatique jusqu'à la prochaine crue du fleuve généralement en fin juin. Après l'exploitation naturelle des whedos dans le delta de l'Ouémé, leur valorisation par la mise en charge artificielle et l'alimentation pourrait permettre d'augmenter leur rendement. C'est ce qui justifie la présente étude.

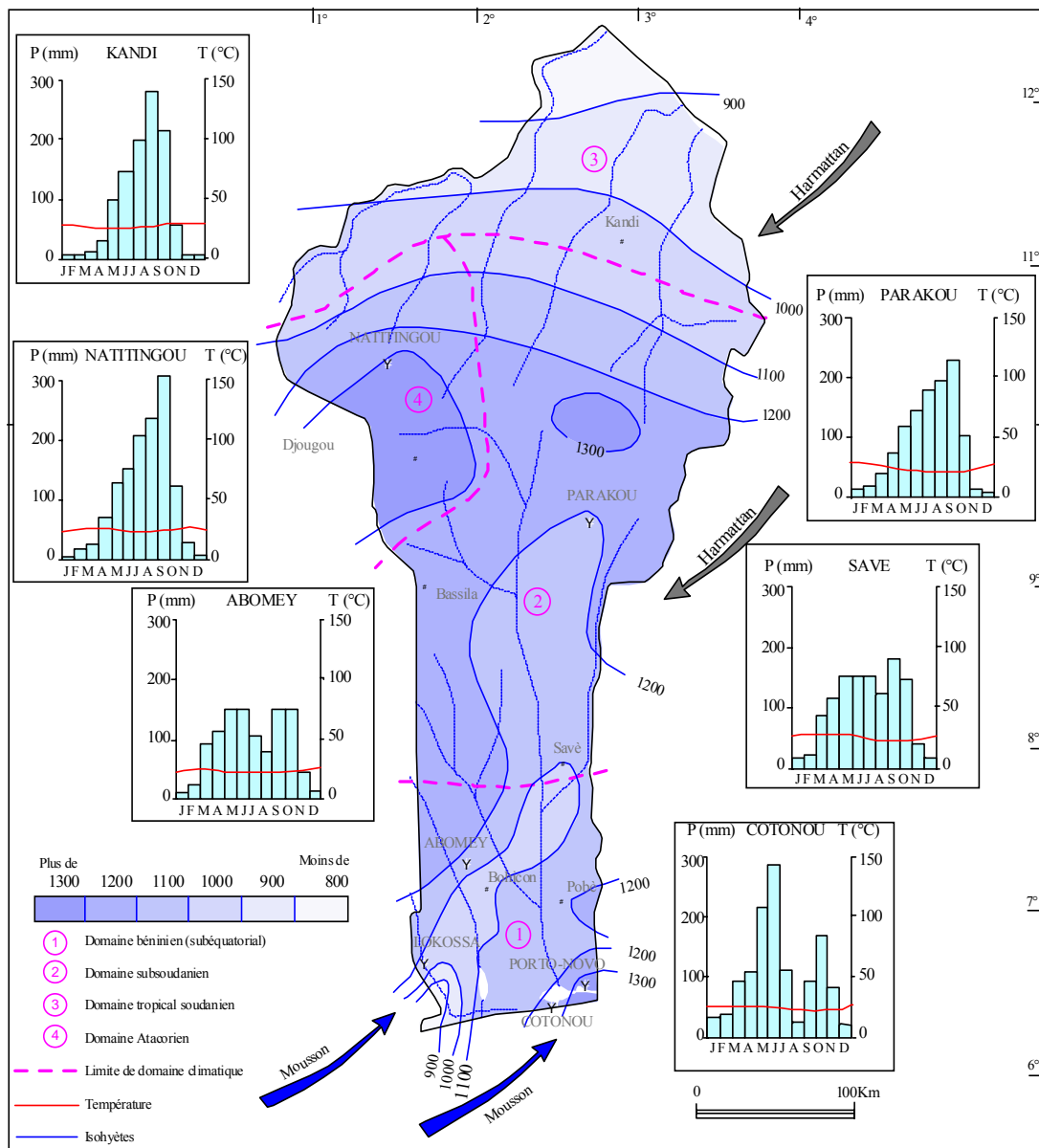


Fig. 3. Carte climatique du Bénin montrant les courbes ombro-thermiques, les directions des vents et les températures (d'après Adam & Boko, 1993).

Par ailleurs, cette technique a été par la suite exportée en dehors de la Vallée de l'Ouémé où la Direction des Pêches, à travers ses différents projets, a permis d'identifier des sites favorables à l'installation de ces trous, de déterminer les dimensions optimales (400 m²) et d'identifier les espèces pouvant y être élevées suivant des systèmes semi-intensifs de production. Appelés également whedos en langue nationale, ces trous sous leur forme actuelle sont généralement connus sous les noms d'étangs non vidangeables ou étangs sur nappe phréatique. Ils sont très répandus de nos jours et constituent avec les whedos du delta de l'Ouémé, les principales structures d'élevage semi-intensif au Bénin.

En plus des étangs vidangeables et des trous à poissons, plusieurs périmètres irrigués par pompage ou gravité pour la culture du riz sont aussi disponibles principalement dans le Sud, en bordure des fleuves Ouémé, Zou, et Mono, mais aussi dans le Nord aux abords du fleuve Niger à Malanville. Ces périmètres le plus souvent abandonnés constituent également des potentialités importantes pour le développement des systèmes de production agro aquacole intégrés.

Par ailleurs, des perspectives de développement de l'aquaculture intensive en bassins hors-sol peuvent être envisagés. Cependant, ce type d'élevage apparaît plus particulièrement adapté aux pays industrialisés, en raison de la présence d'un marché rémunérateur et d'une plus grande disponibilité d'aliments performants, de matériels techniques et de personnels qualifiés. Cette forme d'élevage se développe de plus en plus au Nigeria aussi bien pour la pisciculture de type familial qu'industriel (cas de la « Ferme Obasandjo » par exemple).

1.3.2. Les espèces piscicoles

Le Bénin partage avec la plupart des pays de la zone intertropicale une douzaine d'espèces de poissons d'intérêt aquacole (www.fishbase.org). Cependant, quelques-unes seulement présentent des potentialités remarquables aussi bien sur le plan écologique et zootechnique qu'économique. Il s'agit principalement de Cichlidae, de Clariidae, de Clariidae et d'Osteoglossidae.

Les principaux Cichlidae sont le tilapia d'eau saumâtre *Sarotherodon melanotheron* (Ruppell, 1852) et le tilapia du Nil *Oreochromis niloticus* (Boulanger, 1897). *S. melanotheron* est le tilapia autochtone d'Afrique occidentale vivant dans les eaux douces et saumâtres. Il est détritivore et présente une croissance faible par rapport au tilapia du Nil, *O. niloticus* (Legendre, 1991), d'où l'introduction de ce dernier au Bénin. Le tilapia du Nil a une répartition originelle strictement africaine couvrant les bassins du Nil, du Tchad, du Niger, de la Volta et du Graben Est africain jusqu'au lac Tanganyika (Philippart & Ruwet, 1982). Selon les statistiques mondiale de la pêche et de l'aquaculture des poissons d'eau douce (FAO, 2007), les Cichlidae dont les tilapia occupent le troisième rang après les Cyprinidés et les Salmonidés, avec un taux d'accroissement annuel de 10,9 % entre 2002 et 2004 et une production estimée à environ 2,500 millions de tonnes en 2010 dont plus de 80 % proviendrait d'aquaculture (Josupeit, 2005).

Les Clariidae d'élevage du Bénin sont représentés principalement par les espèces *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) et *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes, 1840)

qui sont des poissons-chats à fortes potentialités de croissance et de survie (Micha, 1973 ; Viveen *et al.*, 1985 ; Legendre, 1991 ; Kerdchuen, 1992 ; Goos *et al.*, 1996 ; Hecht *et al.*, 1997). Ils sont sans doute les espèces les plus adaptées à la pisciculture africaine au travers de leur adaptation à la vie en biotope difficile (eau turbide, pauvre en oxygène, etc.) et à des densités élevées d'élevage (Viveen *et al.*, 1985 ; Avit & Luquet, 1995 ; Hecht *et al.*, 1996).

Les Claroteidae potentiellement piscicoles sont les mâchoirons, *Chrysichthys nigrodigitatus* (Lacépède, 1803) et *C. auratus* (Geoffroy Saint-Hilaire, 1808). Les premières études sur les poissons-chats du genre *Chrysichthys* ont démarré en Côte d'Ivoire (Rich, 1981 ; Otémé *et al.*, 1996). Les premières pontes en captivité de *C. nigrodigitatus* ont été obtenues au Centre de Recherches Océanologiques (CRO) d'Abidjan en 1980, à partir de géniteurs sauvages capturés en lagune et confinés durant 2 à 4 semaines dans des réceptacles de ponte constitués par un tube en PVC (Hem, 1986 ; Otémé, 1993 ; Hem *et al.*, 1994 ; Hem *et al.*, 1995). Sur la base de l'exemple ivoirien, les essais de reproduction en captivité de cette espèce au Bénin sont actuellement en cours (Chikou, 2006).

Heterotis niloticus (Cuvier, 1829) semble aussi être une espèce très intéressante en aquaculture tropicale. Les études de sa biologie, de son écologie, de même que les premiers essais de son élevage ont déjà été réalisés avec succès à l'Unité de Recherche sur les Zones Humides (URZH) (Adite & Van Thielen, 1995 ; Adité *et al.*, 2005 ; Adité *et al.*, 2006).

Au regard des potentialités de la pisciculture béninoise, son développement passe nécessairement par la promotion d'espèces à fortes potentialités zootechniques (reproduction facile, fécondité élevée, résistance des larves et juvéniles, croissance rapide, etc.) et économiques (bien apprécié des consommateurs) telles que le tilapia *O. niloticus* et les poissons-chats *C. gariepinus* et *H. longifilis*. Les perspectives de production de ces espèces dans les trous à poissons (milieux les plus utilisés en pisciculture au Bénin), notamment ceux du delta de l'Ouémé, limitent le choix au regard des caractéristiques physico-chimiques de ces milieux. En effet, les faibles taux d'oxygène et la forte turbidité de l'eau dans les whedos du delta de l'Ouémé ne sont guères favorables à la production des tilapias plus exigeants en oxygène. Par contre, les poissons-chats (*C. gariepinus* et *H. longifilis*) qui possèdent des organes accessoires de respiration aérienne (Micha, 1976 ; Hogendoorn, 1983a ; Viveen *et al.*, 1985 ; Arrignon, 1986 ; Goos *et al.*, 1996 ; Legendre, 1991 ; Hecht *et al.*, 1997) et qui peuvent survivre dans des milieux très troubles (Avit & Luquet, 1995 ; Hecht *et al.*, 1996 ; Otémé *et al.*, 1996) sont plus adaptés à l'élevage dans ces trous.

1.3.3. Les sous-produits alimentaires et autres additifs utilisables en pisciculture

Les diverses matières premières utilisées pour la fabrication des aliments destinés aux poissons peuvent être classées de plusieurs manières selon que l'on se réfère à leur origine, à leur composition, à certaines de leurs propriétés nutritionnelles ou physico-chimiques, ou encore à des critères économiques (Guillaume *et al.*, 1999). Au Bénin, il existe des matières premières aussi bien d'origine animale que végétale qui sont souvent des sous ou co-produits des industries agro-alimentaires locales (Tableau 2).

Tableau 2 : Inventaires des sous produits et additifs alimentaires disponibles au Bénin en 2007.

Désignation	Origine	Prix de vente (Fcfa kg ⁻¹)
Farine de poisson	Sénégal	200 - 250
Farine de poisson	Mauritanie	250 - 400
Farine de poisson	Grande Bretagne	600 – 1.000
Tourteau d'arachide	Bénin / Sénégal	275 - 350
Tourteau de soja	Bénin / France	250 – 300
Tourteau de coton	Bénin	85 – 100
Tourteau de palmiste	Bénin	75 - 100
Soja grain torréfié	Bénin	300 - 350
Maïs (grain)	Bénin	75 - 150
Son de maïs	Bénin	65 - 75
Son de blé	Bénin	50 - 70
Drèche de brasserie	Bénin	75 - 105
Huile de palme	Bénin	400 – 700*
Sang de Boeuf	Bénin	**
Coquille d'huître	Bénin	25 - 50
Amidon de manioc	Bénin	100 - 150
Concentrés minéraux - vitaminés (0,25 %)	Belgique / France	500 - 1500
Lysine 98,5 %	Allemagne / Belgique / France	2.200 – 3.500
Méthionine 99 %	Allemagne / Belgique / France	2.400 – 4.000
Sulfate de fer***	France	340 – 500

* prix par litre ; **coût équivalent au frais de collecte, de transport et de transformation (chauffage, déshydratation et mouture) ; 1€ = 655,957 Fcfa ; ***utilisé pour réduire l'effet du gossypol dans les régimes contenant du tourteau de coton.

L'utilisation des matières premières d'origine animale comme la farine de poisson est presque indispensable dans les régimes alimentaires des animaux aquatiques (Guillaume *et al.*, 1999). En effet, leur constitution en acides aminés indispensables, en acides gras essentiels et vitamines notamment du groupe A, correspondent aux besoins des vertébrés dont les Poissons. Cependant, les farines de poissons utilisées au Bénin sont entièrement importées du Sénégal, de la Mauritanie, du Maroc, de la France et depuis peu de Grande Bretagne. Il se pose donc le problème de la régularité de leur qualité et de leur disponibilité. En analysant la composition notamment en

protéines des farines provenant surtout du Sénégal, de la Mauritanie, du Maroc et parfois même de la France, on constate de grandes différences entre les valeurs communiquées par les vendeurs (50 à 65 % de protéines) et les teneurs réelles de ces produits (38 à 50 % de protéines). La farine de poisson provenant de Grande Bretagne et actuellement importée par la société commerciale « Terre et Associés Bénin Sarl », bien que chère, reste cependant la seule à ce jour contenant plus de 60 % de protéines. D'où la nécessité d'identifier et de substituer d'autres ingrédients locaux riches en protéines et bon marché à ces farines de poissons.

La farine de sang entier de bœuf par exemple a un niveau protéique très élevé (> 84 %) et pourrait être incorporée dans l'alimentation des poissons et autres animaux d'élevage. Au Bénin, l'utilisation du sang d'abattoir est règlementairement interdite pour la consommation humaine. Par conséquent, sa valorisation dans l'alimentation des animaux d'élevage ne posera pas de problème majeur car les grandes quantités de sang récoltées quotidiennement dans les abattoirs sont souvent jetées. Cependant, sa valeur biologique est assez faible car pauvre en méthionine, isoleucine et arginine mais excessivement riche en leucine (Guillaume *et al.* 1999 ; Sauvart *et al.*, 2002), et son incorporation maximale dans les régimes alimentaires pour poissons ne devrait pas dépasser 9 à 10 %.

De nos jours, le développement de la production aviaire au Bénin justifierait la nécessité de valoriser les déchets de cette filière, notamment les plumes et viscères dans la production animale en général, et piscicole en particulier. En effet, les farines de plumes issues des abattoirs de volailles contiennent surtout de la kératine, protéine totalement indigestible. Cependant leurs teneurs en protéines sont élevées (80 à 85 %) mais leur valeur biologique est très faible par suite de la pauvreté extrême en méthionine, en lysine et en histidine (Guillaume *et al.*, 1999). Dans le contexte de la pisciculture, ces farines ne peuvent s'utiliser qu'en complément d'autres sources protéiques. Néanmoins, les déchets comprenant le sang et les viscères de volailles, constituent une sorte de farine de viande de composition variable potentiellement valorisable dans certains pays comme le Rwanda (Nyinawamwiza, 2007). Leur teneur en acides aminés indispensables est assez intéressante pour les mélanges avec des produits végétaux.

Les matières premières d'origine végétale constituent des sources de vitamines du groupe B (surtout B12) et renferment souvent des substances non digestibles ou anti-nutritionnelles. Elles sont moins appétibles et l'amidon, leur principale source d'énergie, n'est pas souvent toléré par les poissons. Certaines d'entre elles comme les tourteaux, beaucoup plus disponibles, constituent des sources de protéines de hautes valeurs biologiques et moins chères. Leur utilisation en substitution aux farines animales dans l'alimentation de nombreuses espèces piscicoles semble prometteuse aussi bien pour la réduction des coûts de production que pour l'amélioration des performances zootechniques des élevages. Les principaux tourteaux disponibles au Bénin sont les tourteaux de palmiste, d'arachide, de soja et de coton (Tableau 3).

Tableau 3 : Composition moyenne en nutriment (% de la matière sèche) des tourteaux disponibles au Bénin (selon les producteurs et exportateurs).

Tourteau	Matière sèche	Matières azotées totales	Lipides	Cellulose brute	Cendres	Energie* (kcal g ⁻¹)
Palmiste	88	17,5	1,8	17	3,5	4,35
Arachide	89,6	49	3,4	8	6	4,41
Coton	91,3	42,6	2,9	14	6,7	4,47
Soja	88	45	2,0	6,1	6,5	4,08

*D'après Sauvante *et al.* (2002).

Le tourteau de palmiste (*Elaeis guineensis*) relativement pauvre en protéines, et contenant de grandes quantités de fibres, est surtout utilisé dans la production avicole et porcine. Son intérêt dans les régimes pour poissons reste encore à prouver. Par contre, le tourteau d'arachide (*Arachis hypogaea*) est le plus riche en protéines (49 % de la matière sèche) de haute teneur en arginine, mais carencées en lysine et méthionine (Guillaume *et al.*, 1999). Au Bénin, la production annuelle d'arachide est d'environ 99.000 tonnes sur 122.000 ha. Cependant, le tourteau d'arachide ne se fabrique pas à l'échelle industrielle bien que l'huile d'arachide soit produite artisanalement et utilisée fréquemment dans les ménages. Cette transformation assurée par de petites exploitations souvent familiales produit un tourteau plutôt commercialisé pour la consommation humaine sous forme de galettes communément appelées « klui-klui ». Il est donc très peu disponible pour l'alimentation animale et coûte cher. De façon générale, l'utilisation du tourteau d'arachide en pisciculture est très peu répandue. En production animale, l'inconvénient majeur signalé à l'utilisation de ce tourteau qui présente cependant une bonne digestibilité et qui est presque exempt de facteurs anti-nutritionnels est la contamination fréquente par de l'aflatoxine (Guillaume *et al.*, 1999 ; Halver & Hardy, 2002) qui est une mycotoxine sécrétée par le champignon *Aspergillus flavus*. Cette toxine provoque des cancers hépatiques et peut se retrouver dans le lait et la chair d'animaux contaminés, d'où leur transmission à l'homme. Cependant, il existe des traitements chimiques à base d'alcali (par exemple addition de NH₃) ou thermiques (NRC, 1993) pour détoxifier les tourteaux contaminés. L'efficacité de ces traitements n'est pas garantie à 100 % et les législations européennes limitent au minimum le taux maximal d'aflatoxine toléré dans les aliments pour animaux.

Le coton (*Gossypium sp*) est la principale ressource végétale cultivée au Bénin. Une bonne partie des graines de coton produit est transformée localement en huile et tourteaux dans les différentes huileries industrielles (Fludor Bénin S.A., SHB : Société des Huileries du Bénin et IBCG : Industrie Béninoise des Corps Gras). Il faut noter par exemple que Fludor traite environ 300 tonnes de graines de coton par jour et produit près de 40.000 tonnes de tourteaux de coton déshuilés par an. La SHB transforme annuellement plus de 75.000 tonnes de graines de coton en huiles et tourteaux commercialisés dans les marchés béninois, nigérian, togolais, ghanéen et ivoirien. L'utilisation du tourteau de coton (42 % de la matière sèche) en aquaculture a déjà donné de bons résultats. Plusieurs recherches ont démontré son intérêt chez les Salmonidae (Fowler, 1980), le tilapia (Jackson *et al.*, 1982 ; Viola & Zohar, 1984 ;

Robinson *et al.*, 1984a ; Ofojekwu & Ejike, 1984 ; El-sayed, 1990 ; Mbahinzinreki *et al.*, 2001 ; Ofojekwu *et al.*, 2003), et les poissons-chats (Robinson *et al.*, 1984b ; Robinson & Li, 1994 ; Robinson & Tiersch, 1995 ; Phonekhampheng, 1996).

Le tourteau de soja (*glycine max*) est de loin le plus utilisé en alimentation animale du fait de sa disponibilité, de sa régularité, de son prix et surtout de sa bonne valeur nutritionnelle avec près de 44 à 50 % de protéines (Guillaume *et al.*, 1999). Il est sans doute le plus nutritif et le plus utilisé en aquaculture. Ses performances dans l'alimentation de plusieurs espèces de poissons ne sont plus à démontrer (webster *et al.*, 1995 ; Hoffman *et al.*, 1997 ; Riche & Brown, 1999 ; Day & Plascencia Gonzalez, 2000 ; Mendoza *et al.*, 2001 ; Grisdale-Helland *et al.*, 2002) et il peut même remplacer totalement la farine de poisson dans l'alimentation des poissons-chats (Wilson, 1991 ; Webster *et al.*, 1995).

Les principaux pays producteurs de ce tourteau au cours des six dernières années sont l'Amérique latine, les Etat Unis, la Chine, l'Union Européenne et l'Inde. Au Bénin, la production de soja est estimée à 1.995 tonnes an⁻¹ sur environ 2.800 hectares. L'essentiel de cette production est réservé à la consommation nationale. Le tourteau de soja est produit par l'IBCG et Fludor. Le tourteau produit (par pression) par l'IBCG est encore très gras et donc moins favorable à la production piscicole mais beaucoup plus utile pour l'engraissement des poulets de chair et des porcelets. La société Fludor Bénin S.A. produit par contre environ 5.000 tonnes de tourteaux déshuilés par an, et faute de graine de soja, sa production baisse d'année en année, justifiant les ruptures de stocks souvent enregistrées dans les provenderies. Ces sociétés (Fludor et IBCG) sont actuellement en pourparlers avec les sociétés américaines afin d'importer des graines de soja américain, ce qui réduirait le coût de production et donc le prix de vente de ce tourteau.

En dehors des tourteaux, le marché béninois de matières premières utilisables en alimentation animale est assez varié (voir Tableau 2). Les plus importantes sont les céréales et leurs dérivés comme la farine de maïs, le son de maïs, le son de riz et la drêche de brasserie, les produits d'origine animale comme la farine de coquille d'huître, ou d'origine végétale dont les macrophytes aquatiques comme la spiruline (*Spirulina sp*), les *Lemna* et l'*Azolla* qui a déjà fait l'objet de quelques recherches en pisciculture béninoise (Fiogbe *et al.*, 2004 ; Abou *et al.*, 2007). Ces différents produits souvent utilisés comme sources de nutriments peuvent parfois avoir un fort pouvoir liant ou attractif dans les régimes alimentaires. C'est le cas par exemple des farines de sang, de spiruline ou encore de l'amidon de manioc.

Par ailleurs, certains produits purifiés comme les huiles végétales (huile de palme, de soja, de tournesol, etc.), l'amidon de manioc, les acides aminés synthétiques (lysine et méthionine principalement), et les prémix vitaminés ou minéraux, commercialisés localement peuvent être utilisés afin d'améliorer les qualités physiques et nutritionnelles des régimes. Des produits vétérinaires tels que le bleu de méthylène ou le vert de malachite sont également disponibles afin de lutter contre une large gamme de mycoses, mais aussi des parasites externes unicellulaires de même que les vers de la peau et des branchies.

1.4. Historique et éléments zootechniques de l'élevage de *Clarias* et *Heterobranchus*

1.4.1. Présentation et potentialités de croissance des espèces

Clarias gariepinus (Burchell 1822) et *Heterobranchus longifilis* Valenciennes, 1840 (Fig. 4), appartiennent à la Classe des *Osteichthyens*, à la Sous-Classe des Actinoptérygiens, au Super Ordre des Téléostéens, à l'Ordre des Siluriformes et à la Famille des *Clariidae* dont ils sont les principaux représentants en Afrique de l'Ouest (Teugels, 1986 ; 1996).

De nombreux arguments, caryologiques, enzymatiques, ontogéniques, de même que les caractéristiques sexuelles et reproductives, montrent la proximité de ces espèces et la similitude des grands traits de leur biologie et de leur écologie (Teugels *et al.*, 1990 ; 1992 ; Legendre & Teugels, 1991). Ils sont cependant différenciables morphologiquement par la présence d'une nageoire adipeuse bien développée chez *H. longifilis* (Fig. 4). Les comparaisons de croissance entre *H. longifilis* et *C. gariepinus* en élevage (Fig. 5) ont montré un important avantage pour la première espèce (Hecht *et al.*, 1991 ; Legendre *et al.*, 1992). Les essais d'hybridation de ces espèces, effectués aussi bien en Afrique du Sud, en Côte-d'Ivoire, au Nigeria ou actuellement en Hongrie, ont montré une croissance plus rapide des individus issus des deux croisements réciproques en comparaison avec l'espèce parentale *C. gariepinus* d'une part (Hecht & Lublinkhof, 1985 ; Hecht *et al.* 1991), ou les deux espèces parentales d'autre part (Legendre *et al.*, 1992 ; Nwadukwe, 1995 ; Adebayo & Alasoadura, 2001 ; Aluko & Popoola, 2002). Legendre *et al.* (1992) ne trouvent pas de différences significatives de croissance entre les larves de *H. longifilis* et les hybrides ($H \times C$) d'une part et les larves de *C. gariepinus* et les hybrides ($C \times H$) durant les 53 premiers jours. Ces mêmes auteurs rapportent que les différences de SGR entre les hybrides et *H. longifilis* en fin d'expérience (J254) ne sont pas significatives.

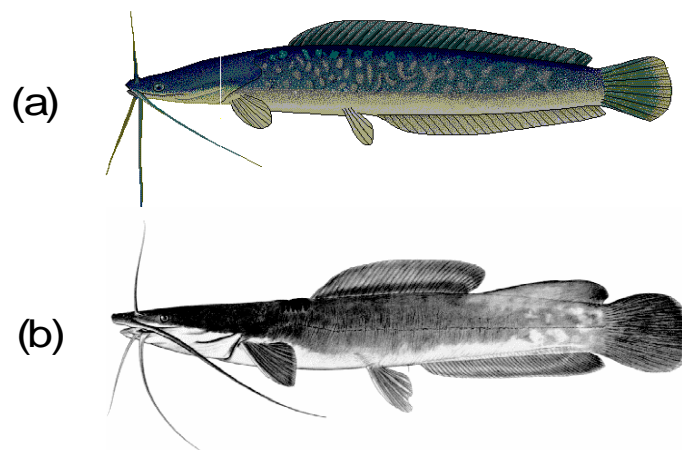


Fig. 4 : Présentation schématique de *Clarias gariepinus* (a) et de *Heterobranchus longifilis* (b) (www.planetcatfish.net).

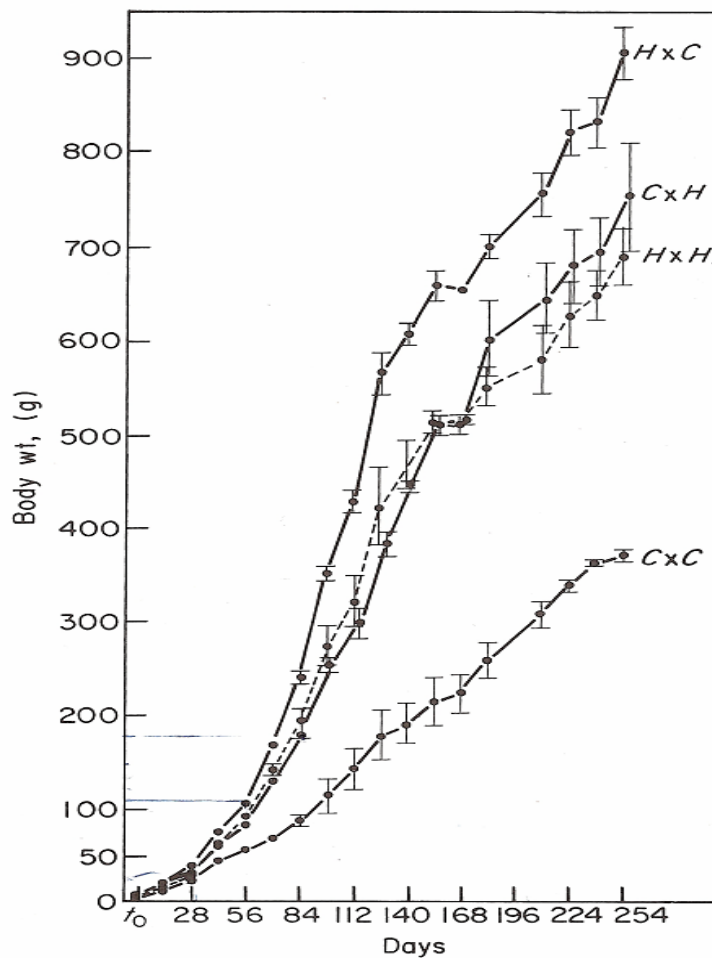


Fig. 5 : Croissance pondérale de *C. gariepinus*, *H. longifilis* et leurs hybrides respectives élevés en bassins (Legendre *et al.*, 1992).

1.4.2. Historique et état actuel de leur élevage

Les premiers essais d'élevage de *C. gariepinus* en Afrique ont été réalisés par Hey (1941). Jusqu'au milieu des années 1970, peu de recherches ont alors porté sur cette espèce. Les travaux de De Kimpe & Micha (1974) et Richter (1976) donneront un nouvel essor aux recherches entreprises notamment en Centrafrique, en Côte d'Ivoire, en Afrique du Sud, au Nigeria, au Pays-Bas et en Belgique sur l'élevage de *Clarias*. Depuis, on note un intérêt croissant de son élevage en Afrique, en Europe, en Hongrie, en Inde, en Chine, dans les Balkans et au Brésil (Hecht *et al.*, 1996). De nombreux travaux ont par la suite porté sur divers aspects de son élevage et des rendements de plus de 40 t ha⁻¹ peuvent être obtenus après 8 mois d'élevage en monoculture (Hecht *et al.*, 1988).

Au Bénin, l'élevage de cette espèce est assez récent (après 1990). Les difficultés de production des juvéniles en captivité l'ont pendant longtemps ralenti. De nos jours, la maîtrise des techniques de reproduction artificielle décrite par Viveen *et al.* (1985)

facilite l'approvisionnement en alevins et relance par conséquent la production de cette espèce qui, malgré tout, souffre encore du manque d'aliments performants et localement disponibles. Il est par contre utilisé plus efficacement en polyculture avec *O. niloticus* afin de contrôler la prolifération de ce dernier.

Heterobranchus, quant à lui, apparaît aujourd'hui comme un bon candidat pour la pisciculture africaine. Les premières observations sur ses potentialités aquacoles ont été conduites en élevage mixte avec des tilapias en étang d'eau douce en République Centrafricaine (Micha, 1973). Ces tentatives ont montré que la croissance de cette espèce est très rapide, mais, faute d'alevins, des essais d'élevage en monoculture n'ont pu être réalisés. L'obtention, en 1984, des premières reproductions en captivité au Centre de Recherches Océanographiques d'Abidjan (Legendre, 1986) a permis des essais d'élevage de *H. longifilis* en monoculture et l'évaluation de ses performances zootechniques en aquaculture lagunaire (Legendre, 1991 ; Hem *et al.*, 1994). Des essais d'élevage ont été également initiés au Nigeria et au Cameroun (Anyanwu *et al.*, 1989 ; Van den Bossche & Bernacsek, 1990 ; Anadu & Eze, 1992 ; Fagbenro *et al.*, 1993 ; Nwadukwe *et al.*, 1993). En étangs, des rendements de 60 à 80 t ha⁻¹ an⁻¹ peuvent être obtenus avec cette espèce (Otémé *et al.*, 1996) qui s'est cependant avérée peu adaptée pour un élevage en polyculture avec les tilapias, car sa croissance trop rapide, entraîne une différence de taille importante avec les tilapias sur lesquels il peut exercer une prédation (Kerdchuen, 1992). Au Bénin, les premiers essais de sa reproduction induite, décrite par Gilles *et al.* (2001), de son élevage larvaire et de son grossissement ont été conduites avec succès depuis les années 2003, à l'URZH.

1.4.3. Reproduction en captivité

En captivité, les poissons-chats *C. gariepinus* et *H. longifilis* ne réalisent pas de ponte spontanée (sauf quelques cas hasardeux) d'où l'utilisation de techniques artificielles de reproduction. Ces techniques impliquent l'usage ou non d'hormones naturelles ou synthétiques favorisant la maturation finale.

- Reproduction sans traitement hormonal

La reproduction des poissons-chats peut être obtenue en conditions semi-naturelles avec des couples isolés dans des bassins de grand volume contenant des îlots de végétaux aquatiques (Seka, 1984). En étang, Viveen *et al.* (1985) observent chez les Clariidae, notamment *Clarias gariepinus*, le processus de frai en simulant la crue. Dans tous les cas, les résultats paraissent aléatoires et conduisent à de grandes pertes d'œufs, d'où l'utilisation des méthodes hormonales d'induction de la maturation ovocytaire finale et de l'ovulation.

- Reproduction avec traitement hormonal

Selon plusieurs auteurs (Viveen *et al.*, 1985 ; de Graaf & Janssen, 1996 ; Gilles *et al.*, 2001), la sélection des femelles à induire est faite sur la base de l'homogénéité de taille des ovules et de leur diamètre, généralement entre 1,4 et 1,6 mm. La reproduction avec traitement hormonal comprend le choix de l'hormone et la dose à

injecter, le stripping (collecte des œufs par pression abdominale), la fécondation in vitro et l'incubation des œufs.

Différentes hormones dont HCG (Human Chorionic Gonadotrophin : 25 UI 100 g⁻¹ de femelle), LH (Luteining Hormon : 0,5 ml kg⁻¹ de femelle), DOCA (Desoxycorticostéroïd Acetate : 2,5 - 5 mg 100 g⁻¹ de femelle) ou Ovaprim® (LH-RHa + antagoniste de la dopamine : 0,5 ml kg⁻¹ de femelle) sont couramment utilisées en intramusculaire ou en sous-cutané pour induire la maturation finale ou l'ovulation chez les femelles de *Clarias* et *Heterobranchus*. Otémé *et al.* (1996) obtiennent 100 % d'ovulation après une seule injection intramusculaire de HCG à la dose optimale de 1,5 UI g⁻¹. Dans le contexte local, le choix de cette hormone (HCG) s'impose non seulement par son activité et sa conservation facile, mais surtout par sa disponibilité. Cependant, dans certaines conditions, l'utilisation de suspensions hypophysaires de carpe, de poissons-chats, de tilapia ou de grenouille lui est pourtant préférée (Nwadukwe, 1993 ; Nwadukwe *et al.*, 1993 ; de Graaf & Jansen, 1996 ; Ducarme & Micha, 2003 ; Adebayo & Fagbenro, 2004).

Onze à quinze heures après l'injection (à environ 28 °C), les ovules arrivés à maturité sont extraits par stripping et fertilisés avec le sperme d'un mâle mature. Ce sperme est généralement obtenu après sacrifice et dissection du mâle, puis incision des testicules. Cependant des techniques de prélèvement sans sacrifice du poisson ont été aussi validées (Nguenga *et al.*, 1996). La quantité de semence ainsi obtenue, bien que variable selon les individus (0,2 à 25 ml), est généralement suffisante pour féconder plusieurs centaines de milliers d'ovules (Viveen *et al.*, 1985 ; Gilles *et al.*, 2001).

Après fertilisation, les œufs sont rincés à l'eau propre (attention à l'eau de robinet qui peut contenir du chlore) et incubés soit en suspension dans des « bouteilles de Zug », ou étalés dans des paniers recouverts de toile moustiquaire, ou encore accolés au système racinaire de plantes aquatiques (laitue d'eau, jacinthe d'eau, etc.). Il faut signaler qu'en fonction des incubateurs utilisés, le taux d'éclosion peut varier fortement (Fig. 6). L'utilisation des plantes aquatiques qui favorisent une meilleure oxygénation des œufs lors de l'incubation semble plus simple et mieux adaptée aux petits producteurs généralement plus nombreux en milieu rural, et où l'électricité pourrait constituer un facteur limitant (Macharia *et al.*, 2005). De toutes façons, l'incubation qui dure environ 672 degré-heure (Viveen *et al.*, 1985), peut se faire en circuit fermé ou non aussi bien en bassin que dans des éclosiers modernes ou localement adaptées.

1.4.4. L'élevage larvaire et le prégrossissement

Les larves issues de l'éclosion pèsent environ 2 mg en fin de résorption vitelline, soit 48 à 72 h post-éclosion (Hecht *et al.*, 1997 ; Legendre *et al.*, 1995). A partir de ce moment, deux options d'élevage peuvent être développées. Il s'agit de l'option intensive qui a lieu en éclosier et qui répond mieux aux impératifs d'une production à grande échelle. Cette option suppose cependant l'utilisation de nauplii d'*Artemia* (vivants ou congelés) comme aliment exogène avant le sevrage. Dans ces conditions, les larves de *C. gariepinus* peuvent atteindre la taille de 70 à 200 mg en moins de 20

jours d'élevage (Verreth & den Bieman, 1987 ; Verreth & van Tongeren, 1989 ; Merchie *et al.*, 1997 ; Imorou Toko & Fiogbe, 2003). Chez *H. longifilis*, Legendre *et al.* (1995) obtiennent des taux de survie de 60 à 90 % avec environ 120 à 250 mg en 15 jours d'élevage. L'utilisation d'*Artemia* posant des problèmes économiques dans les pays en développement, Kerdchuen & Legendre (1994) ont montré que des taux de survie équivalents à ceux obtenus avec *Artemia* (mais avec des croissances plus faibles) peuvent être atteints en nourrissant les larves avec le cladocère *Moina micrura* ou avec des aliments composés à base de foie de bœuf ou de levure de bière.

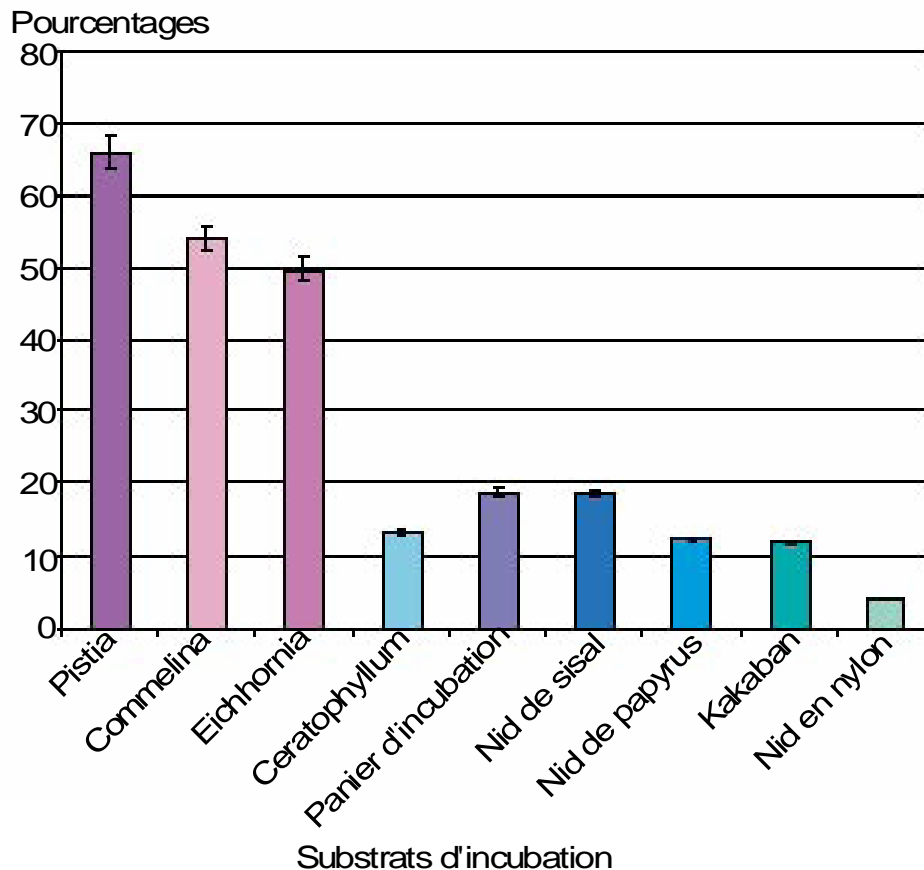


Fig. 6 : Taux d'éclosion des œufs de *C. gariepinus* en fonction du type d'incubateur (d'après Macharia *et al.*, 2005).

D'autre part, l'option extensive peut être développée en étangs ou en bassin fertilisés afin de valoriser les ressources naturelles en zooplancton. Cependant, l'empoissonnement des étangs non protégés avec des larves en fin de résorption vitelline s'est avéré infructueux en terme de survie, en raison de la prédation exercée par les têtards et les insectes aquatiques (Legendre, 1991 ; de Graaf & Janssen, 1996). En revanche, lorsque les larves sont élevées dans des cages de petites mailles implantées en étangs (Legendre *et al.*, 1991 ; Coulibaly *et al.*, 2007) ou en bassins hors-solensemencés en zooplancton (Assouhan, 1992 ; Imorou & Fiogbe, 2003), des taux de survie compris entre 20 et 70 % peuvent être obtenus après 2 à 13 semaines. Cette option d'alevinage constitue, certes, une alternative moins onéreuse pour la

production d'alevins de poissons-chats dans les pays en développement, mais son succès repose cependant sur la possibilité de maintenir de fortes biomasses planctoniques dans les structures d'élevage.

Quelle que soit l'option d'élevage utilisée, les larves doivent être sevrées entre le 5^{ème} et le 14^{ème} jour post-éclosion (Verreth & van Tongeren, 1989 ; Kerdchuen, 1992 ; Gilles *et al.*, 2001) avec des aliments composés de bonnes performances nutritionnelle (protéines > 40 %) et physique (granulés de taille adéquate, 0,2 à 0,8 mm environ), à raison d'au moins 30 % de la biomasse (Gilles *et al.*, 2001).

La prédation et le cannibalisme sont les principales causes de mortalité à maîtriser durant ce stade (Baras *et al.*, 1999). S'il est vrai que la prédation peut être évitée par une bonne préparation des étangs (clôturés pour empêcher la colonisation des prédateurs, application de chaux vive pour éliminer les parasites, etc.), éliminer le cannibalisme ou tout au moins le réduire est loin d'être anodin (Baras & Jobling, 2002). En effet, à ce stade de développement chez les larves de *Clarias* ou *Heterobranchus* le cannibalisme est surtout la conséquence de plusieurs facteurs comme une alimentation non adéquate ou encore l'hétérogénéité de taille dans les populations élevées. Il est donc essentiel que l'alimentation soit de bonne qualité (bonne composition, forme idéale, bon rationnement, fréquence et période de distribution adéquate, etc.) et que les larves soient régulièrement triées afin d'homogénéiser les tailles (Baras, 1999 ; Baras *et al.*, 1999 ; Baras & d'Almeida, 2001 ; Baras & Jobling, 2002).

1.4.5. Les besoins nutritionnels et l'alimentation

Peu d'études ont porté sur les besoins nutritionnels de *C. gariepinus* et dans une moindre mesure encore de *H. longifilis*. Les rares études effectuées (Degani *et al.*, 1989 ; Fagbenro *et al.*, 1992 ; Kerdchuen, 1992 ; Adebayo & Alasoadura, 2001 ; Olufegba *et al.*, 2002 ; Ibiyo *et al.*, 2007) montrent une similitude dans la couverture des besoins généraux des deux espèces notamment en protéines (36 à 42 %), en lipides (4 à 20 %) ou en énergie brute (11 à 18 kJ g⁻¹). Concernant les autres besoins (en vitamines, minéraux, acides aminés indispensables, etc.) ils sont généralement signalés comme étant proches de ceux du poisson-chat américain *Ictalurus punctatus* (Guillaume *et al.*, 1999 ; Hardy & Barrows, 2002).

De nombreuses études ont porté sur l'alimentation de *C. gariepinus* et *H. longifilis* en élevage. Les résultats les plus spectaculaires ont abouti à l'établissement de tables de rationnement (Tableaux 4 et 5), à la taille et au mode de présentation des aliments ou encore aux rythmes alimentaires (Hogendoorn, 1983b ; Hecht *et al.*, 1988 ; Kerdchuen & Legendre, 1991 ; Luquet, 1996 ; Baras *et al.*, 1999 ; Hossain *et al.*, 1999 ; Hossain *et al.*, 2000 ; Hossain *et al.*, 2001). Si tous les auteurs s'accordent sur le fait qu'une amélioration de la croissance et de l'indice de consommation est obtenue avec les granulés secs distribués durant la nuit par repas ou en continu, ils ne rejettent cependant pas une distribution diurne d'aliment, en repas multiples (au moins 4), les performances zootechniques s'avérant aussi satisfaisantes (Avit & Luquet, 1995).

Tableau 4 : Table de rationnement (% de la biomasse) de *C. gariepinus*, selon Hogendoorn *et al.* (1983).

Température (°C)	Poids moyen (g)					
	1	5	25	50	100	200
21	3,6	2,5	1,7	1,4	1,2	1,0
23	5,1	3,7	2,6	2,3	2,0	1,7
25	6,5	4,7	3,4	3,0	2,6	2,3
27	7,4	5,4	3,9	3,4	3,0	2,6
29	7,9	5,6	4,0	3,5	3,0	2,6
31	8,0	5,5	3,8	3,2	2,7	2,3
33	7,8	5,1	3,4	2,8	-	-

Tableau 5 : Table de rationnement (% de la biomasse) de *C. gariepinus*, selon Hecht *et al.* (1988).

Température (°C)	Poids moyen (g)					
	1 - 10	10 - 25	25 - 50	50 - 100	100 - 300	300 - 800
20	5,0	3,0	2,0	1,5	1,2	1,0
22	6,8	4,5	3,0	2,4	2,0	1,7
24	8,1	6,0	4,0	3,0	2,5	2,2
26	9,5	6,6	5,1	3,6	3,2	2,8
28	10,0	7,0	5,5	4,0	3,5	3,1
30	9,8	6,8	5,3	3,7	3,2	2,9
32	9,5	6,5	5,0	3,5	3,0	2,8

1.5. Problématique de la recherche

La promotion de l'élevage des poissons-chats *C. gariepinus* et *H. longifilis* dans les whedos nécessite la disponibilité au préalable d'un grand nombre de juvéniles de ces espèces. Bien que les techniques de base de l'élevage de ces poissons-chats, depuis le stade larvaire jusqu'à la taille marchande, soient maîtrisées, l'acquisition de connaissances précises sur l'alimentation à base des sous-produits disponibles localement est encore nécessaire pour une optimisation des performances de croissance et de survie aussi bien au stade larvaire que juvénile. Les perspectives de substitution de la farine de poissons, importée et/ou de qualité douteuse et irrégulière, par des ingrédients locaux dans les régimes alimentaires permettront non seulement de diminuer les coûts de production, mais surtout d'améliorer la qualité de ces régimes. La nécessité de fabriquer des aliments locaux à haute valeur nutritionnelle pour ces espèces naturellement exigeantes en protéines justifie donc l'utilisation des tourteaux de coton et de soja comme substituts à la farine de poisson.

L'utilisation des tourteaux de coton et de soja dans les aliments était autrefois basée sur leur teneur en protéines et, dans une moindre mesure, sur leur digestibilité

(Luquet, 1984). Le souci de fabriquer des aliments peu coûteux prévalait sur la nécessité de fournir aux alevins des aliments répondant à leurs besoins nutritionnels qui, *in fine*, devraient être plus rentables pour les producteurs. On ignorait donc souvent certaines de leurs caractéristiques nutritionnelles, notamment leur carence en certains acides aminés indispensables et la présence de facteurs anti-nutritionnels et/ou toxiques qui pourraient limiter leur niveau d'incorporation dans les régimes pour animaux en général, et pour les poissons en particulier.

En effet, la présence de gossypol (Fig. 7), pigment jaune phénolique, présent sous forme libre dans de petites glandes notamment dans l'amande et le tégument de la graine de coton, limite l'utilisation de son tourteau dans les régimes alimentaires humain et animal. Chez la truite arc-en-ciel (*Onchorynchus mykiss*), Dabrowski *et al.* (2000) observent qu'une substitution complète de la farine de poisson par le tourteau de coton n'affecte pas la croissance, la survie et les performances reproductives durant les quatre premiers mois d'élevage. Rinchar *et al.* (2003) rapportent également que l'utilisation du tourteau de coton dans les régimes alimentaires de cette espèce ne compromet pas les performances de reproduction chez les mâles, bien que les performances de croissance diminuent avec l'augmentation du taux d'incorporation du tourteau dans les régimes.

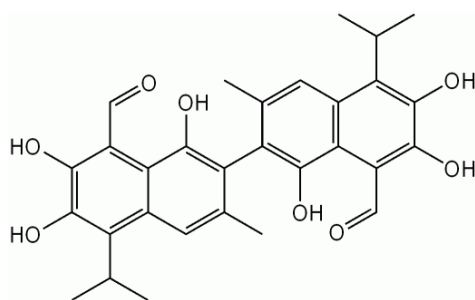


Fig. 7 : Formule chimique du gossypol (C₃₀H₃₀O₈) : 2,2'-bis-(Formyl-1,6,7-trihydroxy-5-isopropyl-3-methylnaphthalene) (www.en.wikipedia.org/wiki/Gossypol).

L'utilisation du tourteau de soja s'accroît de plus en plus dans l'alimentation des poissons-chats Africain (Balogoun & Ologhobo, 1989 ; Webster *et al.*, 1995 ; Phonekhampheng, 1996 ; Hoffman *et al.*, 1997 Falaye & Ahwieh, 1998 ; FAO, 2003b). Cependant, sa carence en méthionine et la présence de substances antinutritionnelles (Lovell, 1988 ; Li & Robinson, 1998 ; Hertrampf & Piedad-Pascual, 2000) pourraient limiter l'utilisation de ce tourteau et imposer un traitement préalable de détoxification. Les principaux facteurs antinutritionnels rencontrés dans le tourteau de soja sont :

- Les facteurs anti-trypsiques :

Ce sont des protéines qui ont la propriété d'inhiber les protéases (et l' α -amylase) dans le tube digestif. En effet, elles forment des complexes très stables avec la trypsine et la chymotrypsine, ce qui inhibe l'action digestive de ces enzymes. Ces complexes (protéases digestives - facteurs anti-protéases) riches en acides aminés soufrés

(méthionine et cystéine), sont excrétés intacts, ce qui augmente les pertes endogènes de protéines, réduit leur digestibilité et accentue la carence en acides aminés soufrés des régimes. La baisse de la concentration d'enzyme dans l'intestin grêle conduit, par rétro-action, à une hypersécrétion compensatrice de trypsine, ce qui augmente les besoins en méthionine de l'animal (Murai *et al.*, 1986 ; Webster *et al.*, 1995 ; Day & Plascencia González, 2000 ; Mendoza *et al.*, 2001 ; Du & Niu, 2003). Ces facteurs anti-trypsiques provoquent des retards de croissance et une diminution des performances zootechniques au cours de l'élevage.

- Les lectines ou phyto-hémagglutinines

Ce sont des glyco-protéines assez répandues dans le règne végétal et caractérisées par leur affinité pour les sucres. C'est cette caractéristique qui est responsable de leur propriété d'agglutiner les hématies *in vitro*, d'où leur nom de phyto-hémagglutinines (ils se combinent aux résidus glycosyl présents sur les parois des globules rouges). Ils provoquent également des retards de croissance et une inflammation des cellules épithéliales de l'intestin.

- Les saponines

Ce sont des hétérosides résultant de la liaison entre un composé aglycone, la génine, et un ou plusieurs sucres. Elles sont très fréquentes dans les végétaux supérieurs, surtout dans les tissus riches en substances nutritives, comme les racines, les tubercules, les feuilles, les fleurs et les graines, et donnent un goût amer aux aliments diminuant par conséquent l'appétit chez les animaux d'élevage.

- L'acide phytique (Fig. 8)

C'est la principale forme de stockage du phosphore dans les tissus végétaux. Il est fréquent dans les tourteaux. Sous cette forme, le phosphore n'est pas disponible pour les animaux monogastriques, dont les poissons qui manquent de phytase (enzyme digestive) nécessaire pour la digestion des molécules de phytate (Francis *et al.*, 2001 ; Hardy & Barrows, 2002 ; Sajjadi & Carter, 2004). Chez les ruminants par contre, la production de phytase par les microorganismes du rumen facilite l'utilisation du phytate. L'acide phytique peut aussi former des complexes insolubles avec les protéines et certains minéraux divalents comme le calcium, le magnésium, le fer, le zinc ou le manganèse réduisant par conséquent la disponibilité de ces nutriments dans les régimes alimentaires pour poissons (Hartman, 1979 ; Gatlin & Wilson, 1984 ; Ravindran *et al.*, 1995 ; Papatryphon, 1999).

Tous ces facteurs antinutritionnels à l'exception de l'acide phytique sont très sensibles à la chaleur, ce qui justifie la nécessité d'un traitement thermique avant leur utilisation en alimentation animale (150 °C pendant 30 - 90 min) (Herkelman *et al.*, 1991 ; Bollini *et al.*, 1999 ; Elmaki *et al.*, 2007). On peut aussi les tremper dans l'eau pendant quelques heures (soaking) ou les laisser fermenter (Marfo *et al.*, 1990 ; Rani & Hira, 1993 ; Antai & Nkwelang, 1998 ; Duhan *et al.*, 2002). En présence de certains facteurs antinutritionnels comme par exemple le gossypol ou l'acide phytique, l'utilisation d'enzymes spécifiques (comme les phytases), d'acides aminés purifiés

(comme la méthionine ou la lysine) ou de minéraux (sulfate de fer par exemple) dans les aliments pourrait permettre d'atténuer leurs effets au niveau du tube digestif. Récemment (en 2006), un groupe de chercheurs américains de l'Université de Texas a pu inhiber, grâce à la technique de « l'ARN interférent », l'expression du gène responsable de la production d'une enzyme impliquée dans la synthèse du gossypol (la delta-cadinene synthetase). Ceci a donc permis de réduire à plus 99 % la teneur en gossypol des graines seulement, sa concentration restant inchangée dans les feuilles, les racines et les organes floraux. En effet, comparé aux variétés *gland-less* (sans gossypol) mises au point dans les années 1950 -1960 par sélection classique, qui avaient l'inconvénient d'être très sensibles aux ravageurs et qui furent donc rapidement abandonnées, ce coton génétiquement modifié présente l'avantage de rendre la graine comestible sans la priver de ses défenses naturelles (www.lefigaro.fr/sciences/2006). Des essais de manipulation génétique ont également permis d'obtenir chez certaines plantes des graines pauvres en acide phytique. Cependant, les difficultés de germination observées avec ces graines retardent encore leur vulgarisation (www.en.wikipedia.org/wiki/Phytic_acid).

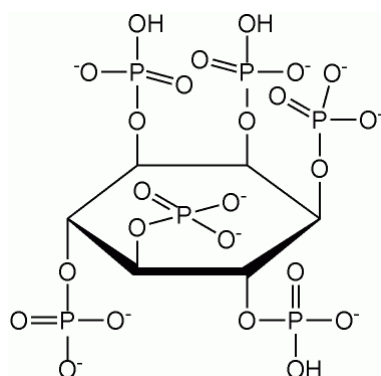


Fig. 8 : Formule de l'acide phytique ($C_6H_{18}O_{24}P_6$) : myo-inositol 1,2,3,4,5,6 hexaphosphokisphate (www.en.wikipedia.org/wiki/Phytic_acid).

1.6. Références

- Abou, Y., Fiogbé, E.D., Micha, J.-C., 2007. Effects of stocking density on growth, yield and profitability of farming Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* L., fed *Azolla* diet, in earthen ponds. *Aquaculture Research*, **38**, 595-604.
- Adam, K.S., Boko, M., 1993. Le Bénin. Les Editions du Flamboyant / EDICEF. Vanves, Cedex. 96p.
- Adebayo, O.T., Alasoadura, T.A., 2001. Dietary protein requirement of Clariid catfish hybrid, *Clarias gariepinus* x *Heterobranchius bidorsalis*, fry fed practical diets. *Journal of Applied Aquaculture*, **11** (4), 93-101.

- Adebayo, O.T., Fagbenro, O.A., 2004. Induced ovulation and spawning of pond raised African giant catfish, *Heterobranchus bidorsalis* by exogenous hormones. *Aquaculture*, **242**, 229-236.
- Adite, A., Van Thielen, R., 1995. Ecology and fish catches in natural lakes of Benin, West Africa. *Environmental Biology of Fishes*, **43**, 381–391.
- Adite, A., Winemiller, K.O., Fiogbe, E.D., 2005. Ontogenetic, seasonal, and spatial variation in the diet of *Heterotis niloticus* (Osteoglossiformes; Osteoglossidae) in the Sô River and Lake Hlan, Benin, West Africa. *Environmental Biology of Fishes*, **73**, 367–378.
- Adite, A., Winemiller, K.O., Fiogbe, E.D., 2006. Population structure and reproduction of the African bonytongue *Heterotis niloticus* in the Sô River-floodplain system (West Africa): implications for management. *Ecology of Freshwater Fish*, **15**, 30–39.
- Aluko, P.O., Popoola, E.O., 2002. Intraspecific hybridization studies in three wild strains of *Heterobranchus longifilis* Valenciennes, 1840. *Journal of Aquatic Sciences*, **17**, (abstract).
- Anadu, D.I., Eze, C.C., 1992. Culturing catfish under different stocking densities. *Aquaculture Management*, **92**, 48-54.
- Antai, S.P., Nkwelang, G., 1998. Reduction of some toxicants in *Ipomoea mannii* by fermentation with *Saccharomyces cerevisiae*. *Plant Foods and Human Nutrition*, **53**, 103-111.
- Anyanwu, P., Ezenwa, B., Uzukwu, P., 1989. Fish culture in Homestead tanks in Nigeria : practices, problems and prospects. *Aquabyte*, **2**, 8-10.
- Arrignon, J., 1986. L'aquaculture au Etats-Unis. In *Aquaculture*, volume 1 et 2, Doc/TEC (Lavoisier) Paris, 1017-1058.
- ASECNA-Bénin, 2004. Données météorologiques des différentes régions du Bénin.
- Assouhan, J., 1992. Etude des facteurs du milieu sur la survie et la croissance larvaire d'un silure africain *Heterobranchus longifilis*. Mémoire d'Ingénieur, ENSA Rennes, France, 34p.
- Avit, J., Luquet, P., 1995. Consommation volontaire d'aliments en situation d'alternance de lumière et d'obscurité chez *Heterobranchus longifilis* ; *Aquatic Living Resources*, **8** (4), 385-387.
- Balogun, A.M., Ologhobo, A.D., 1989. Growth performance and nutrient utilization of fingerling *Clarias gariepinus* (Burchell) fed raw and cooked soybean diets. *Aquaculture* **76**, 119-126.
- Baras, E., 1999. Functional implications of early sexual growth dimorphism in vundu. *Journal of Fish Biology*, **54**, 119-124.
- Baras, E., Tissier, F., Philippart, J.C., Mélard, C., 1999. Sibling cannibalism among juvenile vundu under controlled conditions. **II**. Effect of body weight and environmental variables on the periodicity and intensity of type II cannibalism. *Journal of Fish Biology*, **54**, 106-118.
- Baras, E., d'Almeida, A.F., 2001. Size heterogeneity prevails over kinship in shaping cannibalism among larvae of sharptooth catfish *Clarias gariepinus*. *Aquatic Living Resources*, **14**, 251-256.

- Baras, E., Jobling, M., 2002. Dynamics of intracohort cannibalism in cultured fish. *Aquaculture Research*, **33**, 461-479.
- Bollini, R., Carnovale, E., Campion, B., 1999. Removal of antinutritional factors from bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. *Biotechnology, Agronomy, Society and Environment*, **3** (4), 217-219.
- Chikou, A., 2006. Etude de la démographie et de l'exploitation halieutique de six espèces de poissons-chats (Teleostei, Siluriformes) dans le delta de l'Ouémé au Bénin. Thèse de doctorat, ULg, 459p.
- Coulibaly, A., Ouattara, I.N., Koné, T., N'Douba, V.N., Snoeks, J., Gooré Bi, G., Koouamélan, E.P., 2007. First results of floating cage culture of African catfish *Heterobranchus longifilis* Valenciennes, 1840: Effect of stocking density on survival and growth rates. *Aquaculture*, **263**, 61-67.
- Dabrowski K., Rinchard J., Lee K.-J., Blom, J.H., Ciereszko, A., Ottobre, J., 2000. Effects of diets containing gossypol on reproductive capacity of rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Biology of Reproduction*, **62**, 227-234.
- Day, O.J., Plascencia González, H.G., 2000. Soybean protein concentrates as a protein source for turbot *Scophthalmus maximus* L. *Aquaculture Nutrition*, **6**, 221-228.
- de Graaf, G., Janssen, J., 1996. Handbook on the artificial reproduction and pond rearing of the African catfish *Clarias gariepinus* in sub-Saharan Africa. FAO, Fisheries technical paper, 362p.
- De Kimpe, P., Micha, J.-C., 1974. First guidelines for the culture of *Clarias lazera* in Africa. *Aquaculture*, **4**, 227-248.
- Degani, G., Ben-Zvi, Y., Levanon, D., 1989. The effect of different protein levels and temperatures on feed utilisation, growth and body composition of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture*, **76**, 293-301.
- Direction des Pêches, 2007. Document de politique des Pêches. Bénin / MAEP / DP ; 55p.
- Du, L., Niu, C.-J., 2003. Effects of dietary substitution of soya bean meal for fish meal on consumption, growth, and metabolism of juvenile giant freshwater prawn, *Macrobrachium rosenbergii*. *Aquaculture Nutrition*, **9**, 139-143.
- Ducarme, C., Micha, J.-C., 2003. Technique de production intensive du poisson-chat africain *clarias gariepinus*. *Tropicultura* **21** (4), 189-198.
- Duhan, A., Khetarpaul, N., Bishnoi, S., 2002. Change in phytates and HCL-extractability of calcium, phosphorus and iron of soaked, dehulled, cooked, and sprouted pigeon pea cultivar. *Plant Food and Human Nutrition*, **57**, 275-284.
- Elmaki, H.B., AbdelRahaman, S.M., Idris, W.H., Hassan, A.B., Babiker, E.E., El Tinay, A.H., 2007. Content of antinutritional factors and HCL-extractability of minerals from white bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars: Influence of soaking and/or cooking. *Food Chemistry*, **100**, 362-368.
- El-Sayed, A.M., 1990. Long-term evaluation of cottonseed meal as a protein source for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (Linn.). *Aquaculture*, **84**, 315-320.
- Fagbenro, O.A., Balogun, A.M., Anyanwu, C.N., 1992. Optimal dietary protein level for *Heterobranchus bidorsalis* fingerlings fed compound diets. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, **44**, 87-92.

- Fagbenro, O.A., Adedire, C.O., Oweseeni, E.A., Ayotunde, E.O., 1993. Studies on the biology and aquaculture potential of feral catfish *Heterobranchus bidorsalis* (Geoffroy St. Hilaire, 1809) (Clariidae). *Tropical Zoology*, **6**, 67-79.
- Falaye, A.E., Ahwieh, V.E., 1998. The nutritive value of processed soybean hull meals in diets for the African catfish *Clarias gariepinus*. African Fishes and Fisheries Diversity and Utilization, FISA/PARADI, Grahamstown (South Africa), 206 p.
- FAO, 2003a. Review of world water resources by country. Water Report 23, 127p.
- FAO, 2003b. - Etat de l'aquaculture dans le monde. Circulaire sur les pêches n° 886, revue N° 2, 114p.
- FAO, 2007. La situation mondiale des pêches et de l'aquaculture 2006. Rome, 198p.
- Fiogbe, E.D., Micha, J.-C., Van Hove, C., 2004. Use of a natural aquatic-fern, *Azolla microphylla*, as a main component in food for the omnivorous-phytoplanktonophagous tilapia, *Oreochromis niloticus* L. *Journal of Applied Ichthyology*, **20**, 1-4.
- Fowler, L.G., 1980. Substitution of soy bean and cottonseed products for fish meal in diets fed to chinook and coho salmon. *Progressive Fish-Culture*, **42**, 87-91.
- Francis, G., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, **199**, 197-227.
- Gatlin, D.M., Wilson, R.P., 1984. Zinc supplementation of practical catfish diets. *Aquaculture*, **41**, 31-36.
- Gilles, S., Dugué, R., Slembrouk, J., 2001. Manuel de production du silure africain, *Heterobranchus longifilis*. Maisonneuve et Larose, Paris, 128p.
- Goos, H. J. T., Richter, C. J. J., 1996. Internal and external factors controlling reproduction in the African catfish, *Clarias gariepinus*. *Aquatic Living Resources*, **9** (Hors série), 45-58.
- Grisdale-Helland, B., Helland, S.J., Baeverfjord, G., Berge, G.M., 2002. Full-fat soybean meal in diets for Atlantic halibut: growth, metabolism and intestinal histology. *Aquaculture Nutrition*, **8**, 256-270.
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., Metailler, R., 1999. Nutrition et alimentation des poissons et crustacés. Ed. INRA, Paris, 485p.
- Halver, J.E., Hardy, R.W., 2002. Fish nutrition. Academic press San Diego (Calif) 3rd ed. 824p.
- Hardy, R.W., Barrows, F.T., 2002. Diet formulation and manufacture. In: J.E Halver and R.W. Hardy (Editors), *Fish Nutrition*, 3rd edn. Academic Press, New York, pp. 505-600.
- Hartman, G.H., 1979 Removal of phytate from soy protein. *Journal of the American Oil Chemists Society*, **56**, 731-735.
- Hecht, T., Lublinkhof, W., 1985. *Clarias gariepinus* x *Heterobranchus longifilis* (Clariidae ; Pisces) : a new hybrid for aquaculture. *South African Journal of Science*, **81** (10), 620-621.
- Hecht, T., Uys, W., Britz, P.J., 1988. The culture of sharptooth catfish *Clarias gariepinus* in southern Africa. South African national Scientific Programmes Report No. 153, 133p.

- Hecht, T., Lublinkhof, W., Kenmuir, D., 1991. Induced spawning of vundu *Heterobranchus longifilis*, and embryo survival rates of pure and reciprocal clariid crosses. *South African Journal of Wildlife Research*, **21**, 123-125.
- Hecht, T., Oellermann, L., Verheust, L., 1996. Perspectives on clariid catfish culture in Africa. *Aquatic Living Resources*, **9** (Hors série), 197-206.
- Hem, S., 1986. Premiers résultats sur la reproduction contrôlée de *Chrysichthys nigrodigitatus* en milieu d'élevage. In : Aquaculture research in the African region. *Proc. African seminar on aquaculture*. E.A. Huisman ed. PUDOC, Wageningen, 189-205.
- Hem, S., Legendre, M., Trébaol, L., Cissé, A., Otémé, Z.J., Moreau, Y., 1994. L'aquaculture lagunaire. In : Environnement et ressources aquatiques de Côte d'Ivoire. Tome II. Les milieux lagunaires. J.R. Durand, P. Dufour, D. Guiral, S.G.F. Zabi. Editions de l'ORSTOM, Paris, 455-505.
- Hem, S., Nunez Rodriguez, J., Otémé, Z.J., 1995. L'aquaculture du mâchoiron en Côte d'Ivoire. *ORSTOM actualités*, **48**, 28-33.
- Herkelman, K.L., Cromwell, G.L., Stahly, T.S., 1991 Effects of heating time and sodium metabisulfite on the nutritional value of full-fat soybeans for chicks. *Journal of Animals Sciences*, **69**, 4477-4486.
- Hertrampf, J.W., Piedad-Pascual, F., 2000. Handbook on ingredients for aquaculture feeds. Kluwer Academic Publishers, The Netherland, 573p.
- Hey, D., 1941. Practical freshwater culture. Department of Nature Conservation. Cape Town, 118p.
- Hoffman, L.C., Prinsloo, J.F., Rukan, G., 1997. Partial replacement of fish meal with either soybean meal, brewers yeast or tomato meal in the diets of African sharptooth catfish *Clarias gariepinus*. *Water SA*, **23** (2), 181-186.
- Hogendoorn, H., 1983a. The African catfish (*Clarias lazera* C. & V., 1840) – A new species for aquaculture. Dissertation (Doctor landbouwwetenschappen), Agriculture University of, Wageningen, 133p.
- Hogendoorn, H., 1983b. Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C&V), 3: Bioenergetics relations of body weight and feeding level. *Aquaculture*, **35** (1), 1-17.
- Hogendoorn, H., Jansen, J.A.J., Koops, W.J., Machiels, M.A.M., Van Ewijk, P.H., Van Hees, J.P., 1983. Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C&V). II. Effects of body weight, temperature and feeding level in intensive tank culture. *Aquaculture*, **21** (3/4), 253-263.
- Hossain, M.A.R., Batty, R.S., Haylor, G.S., Beveridge, M.C.M., 1999. Diel rhythms of feeding activity in African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). *Aquaculture research*, **30**, 901-905.
- Hossain, M.A.R., Beveridge, M.C.M., Haylor, G.S., 2000. The influence of food particle size on gastric emptying and growth rates of fingerling African catfish, *Clarias gariepinus* Burchell, 1822. *Aquaculture Nutrition*, **6**, 73-76.

- Hossain, M.A.R., Haylor, G.S., Beveridge, M.C.M., 2001. Effect of feeding time and frequency on the growth and feed utilization of African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) fingerlings. *Aquaculture Research*, **32**, 999-1004.
- Ibiyo, L.M.O., Atteh, J.O., Omotosho, J.S., Madu, C.T., 2007. Vitamin C (ascorbic acid) requirements of *Heterobranchus longifilis* fingerlings. *African Journal of Biotechnology*, **6** (13), 1559-1567.
- Jackson, A.J., Capper, B.S., Matty, A.J., 1982. Evaluation of plant proteins in complete diets for tilapia *Sarotherodon mossambicus*. *Aquaculture*, **27**, 97-109.
- Josuweit, H., 2005. World Market of Tilapia. GLOBEFISH Research Programme, vol. **79**, Rome, FAO, 28p.
- Kebe, M., Tallec, F., 2006. Contribution des pêches aux économies nationale. FAO-PMEDP, 49p.
- Kerdchuen, N., Legendre, M., 1991. Influence de la fréquence et de la période de nourrissage sur la croissance et l'efficacité alimentaire d'un silure africain, *Heterobranchus longifilis* (Teleostei, Clariidae). *Aquatic Living Resources* **4**, 241-248.
- Kerdchuen, N., Legendre, M., 1992. Effect favorable des fortes densités pour l'adaptation d'un silure africain, *Heterobranchus longifilis* (Pisces, Clariidae) en bacs de petit volume, *Revue d'Hydrobiologie Tropicale*, **25**, 63-67.
- Kerdchuen, N., Legendre, M., 1994. Larval rearing of an African catfish, *Heterobranchus longifilis* (Teleostei, Clariidae): a comparison between natural and artificial diet. *Aquatic Living Resources*, **7**, 247-253.
- Lalèyè, Ph., Chikou, A., Ezin, A., Philippart, J.C., Welcomme, R.L., 2003. Fish and fisheries of the Oueme Delta, Benin (West Africa). Paper presented at the *Second International Symposium on the Management of large Rivers for Fisheries*, Phnom Penh, 2003.
- Legendre, M., 1986. Seasonal changes in sexual maturity and fecundity, and HCG-induced breeding of the catfish *Heterobranchus longifilis* Val. (Clariidae), reared in Ebrié lagoon (Ivory Coast). *Aquaculture*, **55**, 201-213.
- Legendre, M., 1991. Potentialités aquacoles des Cichlidae (*Sarotherodon melanotheron*, *Tilapia guineensis*) et Clariidae (*Heterobranchus longifilis*) autochtones des lagunes ivoiriennes. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 83p.
- Legendre, M., Teugels, G.G., 1991. Développement et tolérance à la température des oeufs de *Heterobranchus longifilis*, et comparaison des développements larvaires de *H. longifilis* et de *C. gariepinus* (Teleostei, Clariidae). *Aquatic Living Resources*, **4**, 227-240.
- Legendre, M., Slembrouck, J., Kerdchuen, N., Otémé, Z.J., 1991. Evaluation d'une méthode extensive d'alevinage des clariidae en cages implantées en étangs. Doc. ORSTOM Montpellier, 35p.
- Legendre, M., Teugels, G.G., Cauty, C., Jalabert, B., 1992. A comparative study on morphology, growth rate and reproduction of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822),

- Heterobranchus longifilis* (Valenciennes 1840) and their reciprocal hybrids (pisces, Clariidae). *Journal of Fish Biology*, **40**, 59-79.
- Legendre, M., Kerdchuen, N., Corraze, G., Bergot, P., 1995. Larval rearing of an African catfish *Heterobranchus longifilis* (Teleostei; Clariidae): effect of dietary lipids on growth, survival and fatty acid composition of fry. *Aquatic Living Resources*, **8** (4), 355-363.
- Li, M.H., Robinson, E.H., 1998. Effects of supplemental lysine and methionine in low protein diets on weight gain and body composition of young channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Aquaculture*, **163**, 297-307.
- Lovell, R.T., 1988. Use of soybean products in diets for aquaculture species. *Journal of Aquatic Products*, **2**, 27-52.
- Luquet, P., 1984. Rapport de mission d'appui à l'alimentation des poissons au Bénin. CTFT ; PDP Godomey ; 25p.
- Luquet, P., 1996. Valeur prédictive de la croissance linéaire pour l'établissement de tables de rationnement pour le poisson : cas du silure africain *Heterobranchus longifilis*. *Journées INRA-IFREMER, Nutrition des poissons ; 21-22 fév. 1996 ; 4p.*
- Macharia, S.K., Ngugi, C.C., Rasowo, J., 2005. Comparative Study of Hatching Rates of African Catfish (*Clarias gariepinus* Burchell 1822) Eggs on Different Substrates. *NAGA, WorldFish Center Quarterly*, **28** (3/4), 23-26.
- Marfo, E.K., Simpson, B.K., Idowu, J.S., Oke, O.L., 1990 Effect of local food processing on phytate levels in cassava, cocoyam, yam, maize, sorghum, rice, cowpea and soybean. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*, **38**, 1580-1585.
- Mbahinzireki, G.B., Dabrowski, K., Lee, K.-J., El-Saidy, D., Wisner, E.R., 2001. Growth, feed utilisation and body composition of tilapia (*Oreochromis sp*) fed with cottonseed meal-based diets in recirculating system. *Aquaculture Nutrition*, **7**, 189-200.
- Mendoza, R., De Dios, A., Vazquez, C., Cruz, E., Ricque, D., Anguilera, C., Montemayor, J., 2001. Fishmeal replacement with feather-enzymatic hydrolyzates co-extruded with soya-bean meal in practical diets for the pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*). *Aquaculture Nutrition*, **7**, 143-151.
- Merchie, G., Lavens, P., Verreth, J., Ollevier, F., Nelis, H., De Leenheer, A., Storch, V., Sorgeloos, P., 1997. The effect of supplemental ascorbic acid in enriched live feed for *Clarias gariepinus* larvae at startfeeding. *Aquaculture* **151**, 245-258.
- Micha, J.-C., 1973. Etude des populations piscicoles de l'Ubanguï et tentative de sélection et d'adaptation de quelques espèces à l'étang de pisciculture. C.T.F.T., Nogent-sur-Marne, 100p.
- Micha, J.-C., 1976. Synthèse des essais de reproduction, d'alevinage et de production chez un silure africain : *Clarias lazera* Val. Symposium FAO/CPCA sur l'Aquaculture en Afrique, Accra, *Ghana CIFA Technical Paper*, **4** (1), 450-473.
- Murai, T., Ogata, H., Kosutarak, P., Arai, S., 1986. Effects of amino acid supplementation and methanol treatment on utilization of soy flour by fingerling carp. *Aquaculture*, **56**, 197-206.
- Nguenga, D., Breine, J.J., Teugels, G.G., Ollevier, F., 1996. Artificial propagation of the African catfish *Heterobranchus longifilis* (Siluroidei; Clariidae): Description of

- a simple technique to avoid sacrificing male broodfish for the obtention of milt. *Aquaculture*, **143**, 215-217.
- NRC (National Research Council), 1993. Nutrient requirements of Fish. National Academy Press, Washington, DC, 114p.
- Nwadukwe, F.O., 1993. Inducing maturation, ovulation and spawning in the African catfish *Heterobranchus longifilis* Valenciennes (Pisces; Clariidae), using frog pituitary extract. *Aquaculture and Fisheries Management*, **24**, 625-630.
- Nwadukwe, F.O., Ayinla, O.A., Abby-Kalio, N.J., 1993. Effects of various doses of acetone-dried powdered carp pituitary extract and season on hatchery propagation of *Heterobranchus longifilis* (Val., 1840) (Pisces; Clariidae). *Journal of Aquaculture in the Tropics*, **8**, 33-40.
- Nwadukwe, F.O., 1995. Hatchery propagation of five hybrid groups by artificial hybridization of *Clarias gariepinus* (B) and *Heterobranchus longifilis* (Val.) (Clariidae) using dry, powdered carp pituitary hormone. *Journal of Aquaculture in the Tropics*, **10**, 1-11.
- Nyinawamwiza, L., 2007. Valorisation de sous-produits agro-industriels dans l'élevage du poisson-chat africain *Clarias gariepinus* au Rwanda : influence sur les performances de croissance et de reproduction. Thèse de doctorat, FUNDP-Namur, 188p.
- Ofojekwu, P.C., Ejike, C., 1984. Growth response and food utilisation in the tropical cichlid, *Oreochromis niloticus* (Linn.) fed on cottonseed-based diets. *Aquaculture*, **42**, 27-36.
- Ofojekwu, P.C., Onuoha, P.C., Ayuba, V.O., 2003. Substitution of cottonseed cake with palm kernel meal in diets for Nile tilapia *Oreochromis niloticus* (L.). *Journal of Aquatic Sciences*, **18**, (abstract).
- Olufeagba, O.S.S., Aluko, P.O., Eyo, A.A., 2002. Dietary protein requirement of triploid *Heterobranchus longifilis* fingerlings fed formulated diet. *Journal of Aquatic Sciences*, **17**, (abstract).
- Otémé, Z.J., 1993. Reproduction et fécondité du mâchoiron *Chrysichthys nigrodigitatus* en milieu d'élevage. *Journal Ivoirien d'Océanologie et de Limnologie*, **2**, 53-59.
- Otémé, Z. L., Hem, S., Legendre, M., 1996. Nouvelles espèces de poissons-chats pour le développement de la pisciculture africaine. *Aquatic Living Resources*, **9** hors série, 207-217.
- Papatryphon, E., Howell, R.A., Soares, Jr., 1999. Growth and mineral absorption by striped bass *Morone saxatilis* fed a plant feedstuff based diet supplemented with phytase. *Journal of World Aquaculture Society*, **30**, 161-173.
- Philippart, J.C., Ruwet, J.C., 1982. Ecology and distribution of tilapias. In the biology and culture of tilapias (Pullin and Lowe Mc Connel, Eds.). *ICLARM Conference proceedings*, 7, Manila, Philippines, 15-59.

- Phonekhampheng, O., 1996. Use of glandless cottonseed as an ingredient in hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) feed. Thesis, Asetsart University, Bangkok, 100p.
- Rani, N., Hira, C.K., 1993. Effect of various treatments on nutritional quality of fababean (*Vicia faba*). *Journal of Food Sciences and Technology*, **30**, 413-416.
- Ravindra, V., Bryden, W.L., Kornegay, E.T., 1995. Phytates: occurrence, bioavailability and implications in poultry nutrition. *Poultry and Avian Biology Reviews*, **6** (2), 125-143.
- Rich, L., 1981. Note sur la réhabilitation de *Chrysichthys maurus* (Cuv. & Val., 1839). *Revue de Zoologie Africaine*, **95**, 409-416.
- Riche, M., Brown, P.B., 1999. Incorporation of plant protein feedstuffs into fish meal diets for rainbow trout increases phosphorus availability. *Aquaculture Nutrition*, **5**, 101-105.
- Richter, C.J.J., 1976. The African catfish, *Clarias lazera* (C&V), a new possibility for fish culture in tropical region? In: Huisman, EA (Ed.) Aspects of fish culture and fish breeding. *Misc. Pap. Landbouwhogeschool (Wageningen)*, **13**, 51-71.
- Rinchard, J., Lee, K.-J., Dabrowski, K., Ciereszko, A., Blom, J.H., 2003. Influence of gossypol from dietary cottonseed meal on haematology, reproductive steroids and tissue gossypol enantiomer concentrations in male rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture Nutrition*, **9**, 275-282.
- Robinson, E.H., Li, M.H., 1994. Use of plant proteins in catfish feeds : replacement of soybean meal with cottonseed meal and replacement of fish meal with soybean meal and cottonseed meal. *Journal of World Aquaculture Society*, **25**, 271-276.
- Robinson, E.H., Rawles, S.D., Oldenburg, P.W., Stickney, R.R., 1984a. Effects of feeding glandless or glanded cottonseed products and gossypol to *Tilapia aurea*. *Aquaculture*, **38**, 145-154.
- Robinson, E.H., Rawles, S.D., Oldenburg, P.W., Stickney, R.R., 1984b. Evaluation of glanded and glandless cottonseed products in catfish diets. *Progressive Fish-Culture*, **46**, 92-97.
- Robinson, E.H., Tiersch, T.R., 1995. Effects of long-term feeding of cottonseed meal on growth, testis development and sperm mortality of male channel catfish *Ictalurus punctatus* broodfish. *Journal of World Aquaculture Society*, **26**, 426-431.
- Sajjadi, M., Carter, C.G., 2004. Effect of phytic acid and phytase on feed intake growth, digestibility and trypsin activity in Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.). *Aquaculture Nutrition*, **10**, 135-142.
- Sauvant, D., Perez, J.-M., Tran, G., 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Edition INRA, Paris, 301p.
- Séka, A., 1984. Possibilités d'élevage d'un poisson clariidae des régions forestières de Côte d'Ivoire : *Heterobranchus longifilis*. Mémoire de DEA, Université de Toulouse, 33p.

- Teugels, G.G., 1986. A systematic revision of the African species of genus *Clarias* (Pices ; Clariidae). *Annales du Musée Royal d'Afrique Centrale*, **247**, 1-19.
- Teugels, G.G., Denayer, B., Legendre, M., 1990. A systematic revision of the African catfish genus *Heterobranchus* (Pices; Clariidae). *Zoological Journal of the Linnean Society*, **98**, 237-257.
- Teugels, G.G., Ozouf-Costaz, C., Legendre, M., Parent, M., 1992. A Kariological analysis of the artificial hybridization between *Clarias gariepinus* and *Heterobranchus longifilis* (Pisces ; Clariidae). *Journal of Fish Biology*, **40**, 81-86.
- Teugels, G.G., 1996. Taxonomy, phylogeny and biogeography of catfishes (Ostariophysi, Siluroidei): an overview. *Aquatic Living Resources*, Vol. **9** (Hors série), 9-34.
- Van den Bossche, J.P., Bernaschek, G.M., 1990. Source book for the inland fishery resources of Africa. FAO, CIFA Tech. Pap. 19-2, 411p.
- Verreth, J., den Bieman, H., 1987. Quantitative feed requirements of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell) larvae fed with decapsulated cysts of Artemia. I. The effect of temperature and feeding level. *Aquaculture* **63**, 251-267.
- Verreth, J., van Tongeren, M., 1989. Weaning time in *Clarias gariepinus* (Burchell) larvae. *Aquaculture* **83**, 81-88.
- Viola, S., Zohar, G., 1984. Nutrition studies with market size hybrids of tilapia *Oreochromis* in intensive culture. *Bamidgeh*, **36**, 3-15.
- Viveen, W.J.A.R., Richter, C.J.J., van Oordt, P.G.W.J., Janssen, J.A.L., Huisman, E.A., 1985. Practical manual for the culture of the African catfish (*Clarias gariepinus*). The Netherlands Ministry for Development Cooperation, Section for Research and Technology, 128p.
- Webster, C.D., Goodgame-Tiu, L.S., Tidwell, J.H., 1995. Total replacement of fish meal by soybean meal, with various percentages of supplemental L-methionine, in fish diets for blue catfish, *Ictalurus furcatus* (Leseur). *Aquaculture Research*, **26**, 299-306.
- Welcomme, R.L., 1975. The fisheries ecology of African floodplains. CIFA Technical Paper No. 3, 51 p.
- Wilson, R.P., 1991. Channel catfish *Ictalurus punctatus*. In: Wilson R.P. Handbook of Nutrient Requirements of Finfish. CRC Press; pp 35-53.

www.fishbase.org

www.planetcatfish.net

www.lefigaro.fr/sciences/2006

www.en.wikipedia.org/wiki/Phytic_acid

2. LES WHÉDOS DE L'OUËME :
GENERALITES ET PERSPECTIVES D'ÉLEVAGE DES POISSONS-
CHATS

2.1. Résumé

L'objectif principal de cette partie est d'évaluer les perspectives d'élevage piscicole dans les whedos du delta de l'Ouémé. En effet, les whedos sont des trous traditionnels creusés par les pêcheurs dans la plaine d'inondation des fleuves et lacs du sud Bénin et où les poissons restent emprisonnés après le retrait des eaux de crue. Cette pratique endémique des pêcheurs du delta de l'Ouémé a fini par se répandre dans toutes les zones humides du sud Bénin où, elle a reçu des agréments et s'est amélioré au fil du temps. Ainsi, des trous creusés dans les plaines d'inondation on est passé aux trous communiquant avec la berge des fleuves, ou des lacs, appelés « Ahlos ». Ces derniers ont l'avantage d'être plus oxygénés grâce au renouvellement continu de leurs eaux par les courants d'eau entrant et sortant. Cependant, les whedos construits dans les plaines d'inondations sont plus nombreux dans la vallée de l'Ouémé et couvre environ 1.100 ha. Le mode de gestion de ces trous, basé actuellement sur la productivité naturelle, n'augure pas des rendements meilleurs vu l'accroissement de la demande en poisson et la chute des captures dans le milieu naturel. C'est donc pour contribuer à l'amélioration de leur rendement que nous avons pensé à la mise en charge artificielle d'espèces adaptées dans ces trous. Cette alternative nous paraît intéressante, non seulement pour valoriser les trous abandonnés après leur exploitation naturelle mais aussi pour améliorer le revenu des pêcheurs qui commencent par désespérer quant à l'avenir de leur activité dans le milieu naturel. Afin d'aboutir aux modalités zootechniques de l'élevage en whedo, il nous a paru important d'évaluer au préalable l'importance socio-économique de cette pratique si répandue dans la Vallée du fleuve Ouémé d'une part, et de caractériser les paramètres physico-chimiques de ces whedos pouvant déterminer la faisabilité technique de l'élevage, d'autre part.

L'étude socio-économique nous a permis de comprendre que les whedos sont pour les pêcheurs de la vallée de l'Ouémé une source de prestige. En effet, les contraintes foncières et financières que nécessite leur construction limitent plusieurs pêcheurs à accéder à cette propriété. Dans la psychologie du pêcheur de la Vallée de l'Ouémé, avoir un whedo aujourd'hui, s'est s'assurer une retraite paisible étant donné qu'il peut le mettre en location ou en gage lorsqu'il se trouvera dans l'incapacité physique de l'exploiter. Par ailleurs, l'exploitation des whedos dans la Vallée de l'Ouémé est une activité assez rentable pour les ménages de pêcheurs propriétaires. Cette activité qui se pratique généralement une fois l'an, pourrait rapporter de 120.000 à 240.000 Fcfa par ménage, ce qui représente environ 27 % de leurs revenus annuels de la pêche.

L'évaluation de la qualité physico-chimique et biologique de l'eau des whedos, de même que l'inventaire de leurs peuplements ichthyologique et végétal, a montré des différences comparativement au fleuve Ouémé qui les inonde. En effet, de mars à juin, les paramètres tels que le pH, la conductivité, la teneur en nitrite et la densité en cladocères n'ont pas significativement varié entre les whedos préalablement exploités et le lit du fleuve. Cependant, la teneur en oxygène dissous était beaucoup plus faible dans les whedos ($2,3 \pm 0,5 \text{ mg L}^{-1}$) dû principalement à la faible transparence de l'eau ($19,0 \pm 1,9 \text{ cm}$) et par conséquent à la faible biomasse algale ($0,27 \pm 0,03 \text{ } \mu\text{gC L}^{-1}$). La densité en copépodes était plus élevée dans le fleuve ($72,9 \pm 13,1 \text{ individus L}^{-1}$) que dans les whedos ($19,1 \pm 0,8 \text{ individus L}^{-1}$). Vingt quatre espèces de macrophytes aquatiques communes aux zones humides du Bénin et appartenant à 17 familles ont été recensées dans les whedos non exploités. Dix espèces de poissons (Fig. 1), soit 15 %

des espèces piscicoles du delta de l'Ouémé, ont été également répertoriées dans les whedos. Toutes ces espèces ont des adaptations à la vie en milieux hypoxiques ou disposent d'organes accessoires de respiration aérienne comme les Clariidae, les Anabantidae, les Channidae et les Protopteridae. La famille des Clariidae avec principalement les espèces *Clarias gariepinus* et *C. ebriensis* représentaient près de 70 % des captures dans les whedos. En général, les caractéristiques physico-chimiques et principalement les teneurs en oxygène dissous dans les whedos joue un rôle essentiel dans le recrutement des espèces rencontrées. Ces mêmes caractéristiques limitent le choix des espèces pouvant être mises en charge artificiellement dans les whedos. Cependant, l'utilisation des Clariidae, notamment *C. gariepinus* et *Heterobranchus longifilis* qui ont les mêmes exigences écologiques et de grandes potentialités piscicoles, est apparue indispensable pour la promotion de l'élevage dans les whedos.

Afin d'optimiser les performances de croissance et de production des poissons-chats *C. gariepinus* et *H. longifilis* dans les whedos, nous avons évalué expérimentalement les effets des densités de mise en charge sur les performances zootechniques, notamment la croissance et la production de ces espèces. Les compartiments d'élevage aménagés en whedos au moyen de claies fabriquées localement étaient contigus (Fig. 2). La double barrière de claies séparant chaque traitement permettait d'empêcher le passage de l'aliment d'un compartiment à l'autre.

Il est apparu à travers nos études préliminaires que l'alimentation des poissons au cours de l'élevage pourrait permettre d'améliorer significativement la production de 2,74 à 3,89 t ha⁻¹ an⁻¹. Cette production obtenue avec *C. gariepinus* dans les whedos en passant d'un système extensif à un système semi intensif d'élevage pourrait être encore maximisée si on améliorait l'alimentation et la densité de mise en charge. En effet, en utilisant des rations plus importantes et en augmentant les densités d'élevage de 4 à 24 poissons m⁻³, on s'aperçoit que la production pouvait varier de 3 à 36 t ha⁻¹ an⁻¹ chez *C. gariepinus*. Chez *H. longifilis*, on observe que la croissance ne varie pas significativement chez les poissons élevés de 4 à 8 poissons m⁻³ (respectivement 89,9, 93,2 et 121,3 g, avec les densités de 4, 6 et 8 poissons m⁻³). De plus, le potentiel de croissance de la production de cette espèce (respectivement 6,1 à 15,1 t ha⁻¹ an⁻¹, en passant de 4 à 8 poissons m⁻³) et dans les whedos est assez limité si on le compare à *C. gariepinus*. En utilisant une relation polynomiale du 2nd degré pour caractériser la relation entre la densité de mise en charge et la production de *C. gariepinus* en whedos, il ressort que la densité de 10,5 poissons m⁻³ serait idéale pour une optimisation des performances zootechniques de cette espèce dans les whedos. Cependant, l'analyse des comptes d'exploitation prévisionnelle d'un élevage de *C. gariepinus* en whedos révèle une augmentation croissante des revenus nets de la production par hectare (de 1.664.033 à 31.675.025 Fcfa) en passant de 4 à 24 poissons m⁻³.

En définitive, et selon la première approche de nos investigations, il est important de retenir que l'élevage des poissons-chats africains (*C. gariepinus* et *H. longifilis* en particulier) dans les whedos du delta de l'Ouémé est techniquement faisable et économiquement rentable. Les difficultés en amont (disponibilité d'alevins, d'aliments adéquat, etc.) et en aval (récolte des poissons, conservation, transformation et commercialisation des produits, etc.) de cette production restent encore les facteurs limitant le développement à grande échelle de cette activité.



Brienomyrus niger (Günther, 1866)



Clarias gariepinus (Burchell, 1822)



Clarias ebriensis Pellegrin, 1920



Ctenopoma kingsleyae Günther, 1996



Malapterurus electricus (Gmelin, 1789)



Parachana africana Steindahner, 1879



Parachana obscura Günther, 1861



Polypterus senegalus Cuvier, 1829



Protopterus annectens (Owen, 1839)



Xenomystus nigri (Günther, 1868)

Figure 1: Diversité ichthyologique des whedos du delta de l'Ouémé (Sud Bénin).



Fig. 2. Photo des différents compartiments d'élevage aménagés dans un whedo.

2.2. Overview and socioeconomic valuation of the traditional fish ponds (whedos) in Oueme delta (West Africa, Benin)

Ibrahim IMOROU TOKO, Alexandre BIAOU, Emile D. FIOGBE, Patrick
KESTEMONT

Aquaculture Economics and Management (Soumis)

Abstract

This paper, based on literature review, personal investigations and field data supplied by fishery workers, describes the technical and socioeconomic features of fisheries in the traditional fish ponds (whedos) of the Oueme delta, South-Benin (West Africa). It arises that more than 80% of the professional fishermen in the investigated villages have whedos varying between 1 and 15 with an average of 5 to 9 per household. Moreover, fishing in the whedos of the Oueme delta can yield more than 25 millions Fcfa (38,000 €) with annual net income varying from 200,726 to 572,720 Fcfa ha⁻¹ (306 to 870 € ha⁻¹). This activity, although seasonal, represents approximately 27% of the gross annual incomes per household in the Oueme delta. Overall, the present study shows their contribution to the improvement of the income and livelihood conditions of the fishermen in Oueme delta, and consequently the losses which its mismanagement could generate for the local government. Therefore, it constitutes a basis for future management programmes of these whedos.

Key words: Oueme delta; whedo; management; socioeconomic features; fishermen; livelihood conditions

2.3. Fisheries management and water quality of the “whedos” (traditional fish ponds, South Benin) in regard to fish stock

Ibrahim IMOROU TOKO, Emile D. FIOGBE, Jean-Marie ACODJI & Patrick
KESTEMONT

Fisheries Management and Ecology (Soumis)

Abstract

In regard to improve the fish yield of the whedos (traditional fish ponds) by stocking and rearing during the draw-down period, we assessed their water quality comparatively to those of the Oueme River on which they depend. Variables such as pH, K_{25} , NO_2^- and cladocerans density were similar in both systems while temperature, dissolved oxygen, transparency and microalgal biomass were significantly lower ($P>0.05$) in the whedos than the river channel. Using multivariate analyses, it was demonstrated that the variability of water quality in the whedos depends not only on their size but also on their width and water height. Moreover, many fish species were observed in the whedos (*Clarias*, *Ctenopoma*, *Parachanna*, *Protopterus*, *Polypterus*, *Malapterurus*, *Xenomystus* and *Brienomyrus*) and all display adaptations for survival in low dissolved oxygen conditions. The macrophytes were also abundant in the whedos and very diversified (24 species).

In summary, the observations carried out in the whedos during this study show that the quality of their water limits consequently the possibilities to stock many fish species. However, potentiality of improving the fish yield of the whedos by stocking and rearing air breathing fish species during the draw-down period is currently debated.

Key words: Whedo; Fisheries management; Water quality; Plankton; Fish stocking

2.4. Rearing of African catfish (*Clarias gariepinus*) and vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*) in traditional fish ponds (whedos): effect of stocking density on growth, production and body composition

Ibrahim IMOROU TOKO, Emile D. FIOGBE, Bruno KOUKPODE,
Patrick KESTEMONT

Aquaculture **262** (2007), 65-72

Abstract

African catfish (*Clarias gariepinus*) (initial body weight: 34.8 ± 4.8 g) and vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*) (initial body weight: 39.1 ± 8.2 g) fingerlings were stocked at densities of 4, 6 or 8 fish m^{-3} in traditional fish ponds (whedos) constructed in the floodplain of the Oueme river (South Benin, West Africa), for 70 days from March to June 2005. Fish were fed twice a day with 34% crude protein feed formulated with locally available ingredients. The effects of stocking density were evaluated in growth responses, gross production and body composition. Water quality variables were similar ($p > 0.05$) in all compartments. Temperature and pH were at the optimum level for fish. Dissolved oxygen ranged from 0.9 to 1.2 mg l^{-1} during the experiment and Secchi disc transparency was low (< 14 cm). In both species, growth responses increased with the increasing density, significantly in African catfish stocked at density of 8 fish m^{-3} compared to the other densities (4 and 6 fish m^{-3}) but not significantly in vundu catfish. Production data ranged from 3.1 ± 0.5 to 22.8 ± 4.5 tons $\text{ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ in African catfish and from 6.1 ± 1.2 to 15.1 ± 3.1 tons $\text{ha}^{-1} \text{ year}^{-1}$ in vundu catfish. Production increased with increasing stocking densities but only significantly ($p < 0.05$) between the density of 8 fish m^{-3} and the other densities. In both species, carcass fat increased with increasing density ($p < 0.05$) while carcass protein and moisture decreased ($p > 0.05$). These results are important because they indicate that, as far as growth rate and production are concerned, African catfish is more profitable than vundu catfish for culture at high density in whedo.

Key words: African catfish; Vundu catfish; Traditional fish pond; Whedo; Stocking density

1. Introduction

The extensive catfish culture in south-eastern Benin (West Africa, Fig. 1) is generally based on many ponds (1100 ha according to Welcomme, 1971) which were constructed during medieval times in the floodplains of rivers and lakes and commonly known as 'whedo'. This practice improved with the passing years and especially developed in the valley of the Oueme river (Fig. 1) where one counts more than 1000 whedos, each longer than 120m (Noutai, 1987). Their primary objective was, and commonly still is, to store water during the dry season when the rivers are dropped out the floodplains. These traditional ponds are also used to trap the wild fish when the water level drops. In spite of low oxygen concentration, these whedo shelters many wild fish species such as *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), *C. ebriensis* (Pellegrin 1920), *Protopterus annectens* (Owen 1839), *Parachanna obscura* (Güther 1861), *Polypterus senegalus* (Cuvier 1829), etc. (Welcomme, 1971). Such fish farming is predominantly rural, and orientated principally to the immediate needs of the farmers and their families. According to Nonfon (1988), the output of a whedo is higher than 1.57 t ha⁻¹ year⁻¹ and 58.3% of the fishermen have 23% of their income who depend of their unique exploitation per year. The production of the whedos, averaging 1719 tons in 1970 (Welcomme, 1971), decreased from year to year to 1500 tons only in 1986 (Nonfon, 1988). From December to June (dry season), the wild fish trapped in these whedos are captured using traditional fishing methods (cast net, hoop net, small seine net, basket, harpoon, etc.), often in February. They are then invaded progressively by aquatic vegetation (*Ipomea* sp, *Lemna* sp, *Salvinia* sp, *Azolla* spp, *Echinochloa* sp, *Leersia* sp, etc.) until the next flood of the Oueme river, generally at the end of June. The management patterns of these fish production as part of an extensive fish farming system have remained virtually unchanged in these traditional ponds. It is to improve this management that the development of semi-intensive catfish cultured is considered after wild fish are captured (from February to June).

The expansion of aquaculture, especially the culture of African catfish (*Clarias gariepinus*) and vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*, Valenciennes 1840) is due to their tolerance to a wide range of temperatures, as well as to low oxygen and high salinity levels (Hecht et al. 1996; Otémé et al., 1996). Moreover, they have high nutritive value, good taste, and few bones. Because of their high fecundity and growth rate, they become an important commercial species worldwide (Africa, Europe, China and Brazil) (Hecht et al., 1996). Preliminary experiment conducted in whedo showed the possibility to increase the catfish production by artificial feeding. However, stocking density is a significant factor in determining the fish production in these structures where oxygen level is already lower than 1 mg l⁻¹. Growth and survival of African and vundu catfish fry are known to be influenced by stocking density (Hecht, 1982; Hecht and Appelbaum, 1988; Appelbaum and Van Damme, 1988; Haylor, 1991, 1992; Kaiser et al., 1995a; Baras et al., 1998; Ewa-Oboho and Enyenihi, 1999). In some species, increasing stocking density usually results in stress (aggressive behaviour, dominance) which leads to enhanced energy requirements causing reduced growth, food utilization and net yield (Grant, 1997; Begout-Anras and Lagardère, 2004). However, catfishes showed some interesting deviation from this typical trend. Juvenile African catfish are normally highly aggressive when confined in small numbers in a large volume of water. Aggressiveness, territorial defense and

development of hierarchies and individual dominance are often reduced at high stocking density (Hecht and Appelbaum, 1988; Kaiser et al., 1995b; Hecht and Uys, 1997) and fish may start stressed once certain threshold densities are attained (Hecht and Uys, 1997). Indeed, aggression can result in stock losses, reduced food conversion efficiency and slower growth. So, there must be a density from which both growth and production decreased with increasing stocking density. Evaluation of the critical stocking density in whedo may provide commercially important information in designing an efficient culture system for catfish.

In this study, the effects of stocking density were assessed to determine the relationships between stocking density and production in African and vundu catfishes cultured in whedo. Other related objectives were to determine the effect of stocking density on growth, food utilization, body composition and finally the feasibility of this clariid catfish as a species suitable for raising in whedo.

2. Material and methods

2.1. Location and experimental design

The study was carried out from March to June 2005 (70 days) in three whedos located at Gangban village (06°39'48"N 02°27'66"E), 108 km northeast from Cotonou (Fig. 1).

In each whedo longer than 100 m six compartments of 10 m² were made. The level of water ranged from 0.6 m at the onset of experiment to 0.4 m only at the end due to evaporation and percolation. Barriers between compartments were achieved locally with bamboo sticks. Three treatments using three stocking densities have been tested: 4 fish m⁻³, 6 fish m⁻³ and 8 fish m⁻³. These densities, although lower than those usually used for African and vundu catfishes in intensive culture system, were chosen in regard to water quality and the fact that whedos are used by limited resource populace. Each treatment was applied in triplicates. To prevent warm water contamination due to density treatment, the replicates of a same density were disposed by species, in three successive compartments of a same whedo.

2.2. Fish

African catfish (initial body weight: 34.8±4.8 g, n = 140) and vundu catfish (initial body weight: 39.1±8.2 g, n = 140) fingerlings were obtained from male and female brood fish reared in pond of Research Unit of Wet Land, University of Abomey-Calavi, Benin. Breeding was carried out using Ovaprim® (0.5 ml /kg body weight) as inducing agent, following procedures of Viveen et al. (1985). Larvae were fed *Artemia* nauplii (INVE Aquaculture, Belgium) for 8 days and then weaned over 8-day period by substituting *Artemia* with a commercial Catfish diet (CatCo Crumble Excellent, 0.3-0.5 mm, Coppens-International, Helmond, Netherlands). After weaning, fish were transferred in a circular concrete tank for 60 days. During the first 2 weeks the fish were fed CatCo Crumble Excellent (0.5-0.8 mm, Coppens-International, Helmond, Netherlands). They were then fed on the CatCo Grower-12 EF (2 mm, Coppens-

International, Helmond, Netherlands) for 56 days. Fingerlings were kept in concrete pond for an adaptation period of 3 month before being allotted to the experiment.

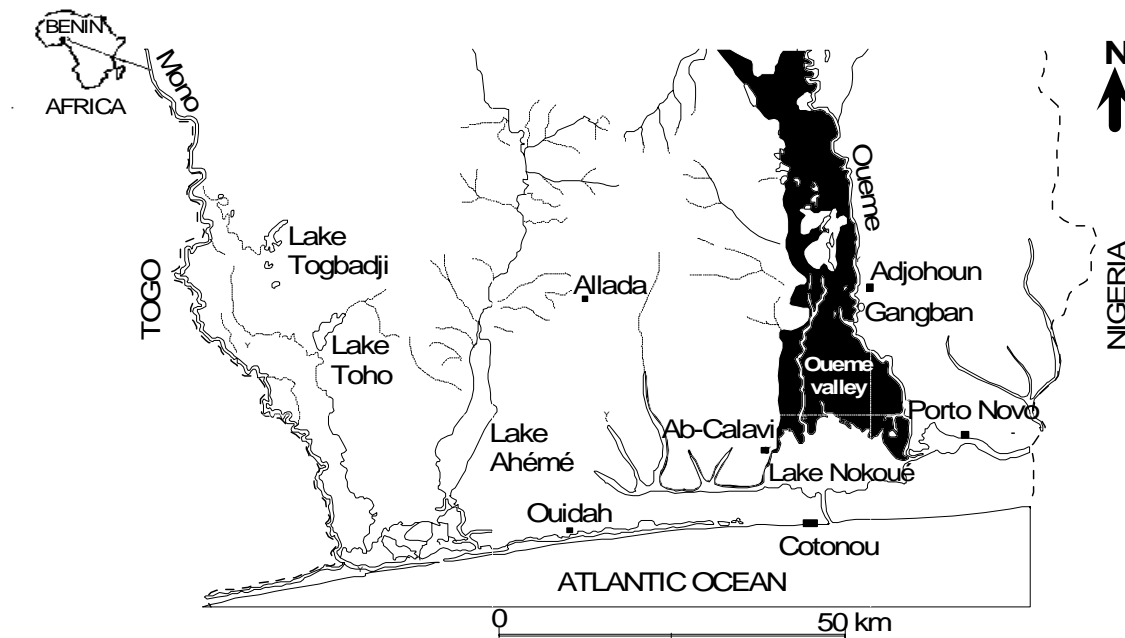


Figure 1. Map of south Benin showing the study area.

2.3. Food and feeding

The 34% crude-protein feed (ADCP, 1983) was formulated using locally available ingredients (Table 1). Feed was prepared by mixing the dry ingredients with addition of oil and water until a desirable paste-like consistency was reached. This paste was sun-dried at about 30-40°C and preserved in airtight containers. Finally, the feed was manually crumbled to pellet size (2 cm) before served. Fish were hand fed daily at 5% of body weight, divided into two meals delivered at 8:00 a.m and 5:00 p.m. After 2 weeks, the ration was adjusted according to Hogendoorn et al. (1983) after estimation of body weight using a growth curve reported by Legendre et al. (1992) for African and vundu catfishes.

2.4. Parameters measured and chemical analyses

Water quality parameters such as dissolved oxygen, temperature, pH and transparency (using temperature and dissolved oxygen meter WTW Oxi 197 ; pHmeter WTW pH324 ; secchi disk, respectively) were monitored in each compartment throughout the experimental period, twice a month at 10:30-11:00 a.m. Water samples (1.5 liter) were also collected at the same time in each compartment for nitrite nitrogen (NO_2^- , colorimetric analysis using NitrVer® 3 Nitrite reagent) and chlorophyll *a* for

phytoplankton abundance (Pechar, 1987). Each parameter was monitored at a depth of 10–20 cm. The water quality parameters ranged from 28.5 to 29.8°C, 0.9 to 1.2 mg l⁻¹, 6.2 to 6.5, 12.4 to 14.0 cm, 0.03 to 0.15 mg l⁻¹ and 0.5 to 1.3 µg l⁻¹, for temperature, dissolved oxygen, pH, secchi disk transparency, nitrite and chlorophyll *a*, respectively. There was no significant difference ($p>0.05$) of the water quality variables among compartments and treatments.

Table 1.

Formulation, proximate composition and cost of experimental feed.

Ingredients ^a	(g kg ⁻¹)	Protein level (%)
Fish meal	480	51
Maize meal	200	8.5
Cottonseed cake	250	37
Palm oil	60	0
NaCl	10	0
Proximate composition (%)		
Crude protein	33.9±0.7	
Crude lipid	16.3±0.4	
Ash	7.0±0.1	
Cost of feed per kg (Fcfa) ^b	213	

^aLocally made, supplied by Ovograin Feeds Depot, Abomey-Calavi, Benin;

^b1 Euro = 655.957 Fcfa.

After 70 days, the total number and biomass (kg) of survivors in each compartment were recorded. Six fish randomly taken from each compartment ($n = 18$ fish/treatment) were stored in polyethylene bags, and frozen (-20°C) for body analysis. Fish samples were analyzed by standard methods for moisture (oven drying at 105°C for 24 h), crude protein (N -Kjeldahl $\times 6.25$) and ash (oven incineration at 550°C). Carcass total lipids were extracted according to Bligh and Dyer (1959).

Growth (final mean body weight : W_t , specific growth rate : SGR) and apparent feed conversion rate (AFCR) were calculated as follow : W_t (g) = $B_t N^{-1}$, where B_t = final fish biomass (g) per compartment and N = number of survivors ; SGR (% day⁻¹) = $100 (\ln W_t - \ln W_0) \square t^{-1}$, where W_0 = initial mean body weight (g), $\square t$ = time (days) ; AFCR = (weight of feed used) (fish weight gain)⁻¹.

The coefficient of variation of final weight ($CV = 100 \text{ SD mean}^{-1}$) and the condition factor ($K = 100 W_t L^{-3}$, where W_t is in g and L : fish longer in cm) were also calculated.

Production (P) was calculated using extrapolated value of final biomass per hectare (ha): P (t ha⁻¹ year⁻¹) = $(B_t - B_0) \square t^{-1} S^{-1}$, where B_t and B_0 = final and initial biomass (ton, t) respectively, $\square t$ = time (year) and S = area of production (ha).

2.5. Statistical analysis

The effects of density were compared using one-way analysis of variance (ANOVA). Significant differences between treatments means ($p < 0.05$) were determined using a Fisher's PLSD test (Saville, 1990). Percentage data were normalized by arc-sine transformation prior analyses.

3. Results

3.1. Survival, growth, condition and production

Survival of fish under experimental conditions ranged from 96 to 100% without any significant difference between treatments ($p > 0.05$). Growth performances of African and vundu catfishes differed significantly ($p < 0.05$) in terms of final mean weight and growth rate (Table 2). Overall, growth responses in both species increased with the increasing density, but not all differences were significant. In African catfish, there were significant differences ($p < 0.05$) in W_t and SGR between a density of 8 fish m^{-3} and the other two lower densities (4 fish m^{-3} and 6 fish m^{-3}) which were similar while in vundu, growth was not significantly affected ($p > 0.05$) by stocking density between 4 and 8 fish m^{-3} , although the higher densities supported the best growth. In both species, production values differed with stocking density. Total production increased with increasing densities (Table 2) but differences were significant ($p < 0.05$) only between the density of 8 fish m^{-3} and the others. The CV weight ranged between 19 and 55.6% in African catfish and between 40 and 56.3% in vundu and did not vary significantly ($p > 0.05$) between stocking densities. Stocking density did not affect the condition factor of vundu while K of African catfish stocked at 8 fish m^{-3} was significantly ($p < 0.05$) higher than those of fish stocked at lower density.

3.2. Food utilization and body composition

In African catfish, AFCR was affected by stocking density, decreasing significantly ($p < 0.05$) with increasing stocking density (Table 3). In vundu, the best AFCR was achieved with the stocking density of 8 fish m^{-3} (1.7 ± 0.3) but differences with other densities were not significant. In both species, proximate carcass fat increased with increasing density ($p < 0.05$) while carcass protein level and moisture decreased but not significantly ($p > 0.05$) (Table 3).

3.3. Economics

Net profits were directly related to stocking density in both species. So, the highest density provided the highest profit (Table 4).

Table 2.

Survival, final weight, specific growth rate (SGR), production data, coefficient of variation of final weight (CV) and condition factor (K) of African and vundu catfishes reared at different stocking densities in whedo.

Parameters fish m ⁻³	Stocking density		
	4	6	8
Survival (%)			
African catfish	100 (0.0)	100 (0.0)	100 (0.0)
Vundu catfish	100 (0.0)	96.7 (5.8)	98.3 (2.9)
Final weight (g)			
African catfish	61.7 (4.0) ^a	82.9 (11.9) ^a	149.8 (24.2) ^b
Vundu catfish	89.9 (14.0)	93.2 (13.9)	121.3 (14.3)
SGR (% day ⁻¹)			
African catfish	0.82 (0.09) ^a	1.23 (0.21) ^b	2.07 (0.24) ^c
Vundu catfish	1.18 (0.22)	1.23 (0.21)	1.61 (0.18)
Production (t ha ⁻¹ year ⁻¹)			
African catfish	3.1 (0.5) ^a	7.9 (2.0) ^a	22.8 (4.5) ^b
Vundu catfish	6.1 (1.2) ^a	8.8 (2.6) ^a	15.1 (3.1) ^b
CV weight (%)			
African catfish	19.0 (7.2)	27.0 (7.7)	55.6 (20.6)
Vundu catfish	56.3 (8.6)	40.0 (3.4)	46.1 (6.0)
Condition factor (K)			
African catfish	0.9 (0.1) ^a	0.8 (0.1) ^a	1.2 (0.1) ^b
Vundu catfish	1.0 (0.2)	0.9 (0.1)	1.1 (0.1)

Data are means (\pm S.D) of three replicates. In each line, means with different letters as superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

Table 3.

Feed utilization and body composition data for African and vundu catfishes reared at different stocking densities in whedo.

Fish/m ³	African catfish			Vundu catfish		
	4	6	8	4	6	8
AFCR	3.4(0.7) ^a	2.2(0.6) ^b	1.1(0.2) ^c	2.1(0.5)	2.2(0.6)	1.7(0.3)
Initial protein	12.2	12.2	12.2	12.9	12.9	12.9
Final protein	14.7(0.5)	14.2(1.1)	13.6(0.2)	15.2(1.2)	14.9(0.5)	14.5(0.2)
Crude fat	6.8(0.2) ^a	7.4(0.1) ^a	10.5(0.4) ^b	4.5(0.2) ^a	5.5(0.1) ^a	7.2(0.2) ^b
Moisture	72.5(1.2)	71.9(1.0)	69.8(1.1)	75.4(0.5)	74.2(1.3)	72.7(0.3)
Ash	4.2(0.1)	4.0(1.2)	4.3(0.1)	3.3(0.0)	3.5(0.1)	3.4(0.1)

Data are means (\pm S.D) of three replicate. In each line and by species, means with different letters as superscripts are significantly different ($p < 0.05$).

Table 4.

Benefit-cost analysis for African and vundu catfishes reared at different stocking densities in whedo (per year)

Components	African catfish			Vundu catfish		
	4	6	8	4	6	8
Fish/m ³						
Expenditure (x 1000 Fcfa ^a , per ha)						
Whedo preparation	15	15	15	15	15	15
Fingerlings cost ^b	1500	2250	3000	2000	3000	4000
Feed cost ^c	434.3	656.9	1004.5	432.6	712.9	1133.6
Maintenance and harvest	30	30	30	30	30	30
Total expenditure	1979.3	2951.9	4049.5	2477.6	3757.9	5178.6
Income (per ha)						
Final Biomass (kg)	1235	2488	5990	1798	2795	4853
Total income ^d (x 1000 Fcfa)	1482	2985.6	7188	2697	4192.5	7279.5
Net benefit (Fcfa, per ha)	-497.3	33.7	3138.5	219.4	434.6	2100.9
Benefit:Cost Ratio (BCR)	-0,25	0,01	0,78	0,09	0,12	0,41

^a1€ = 655.957 Fcfa; ^b75 Fcfa per African catfish and 100 Fcfa per vundu catfish; ^c1 kg feed = 213 Fcfa; ^d1 kg African catfish = 1200 Fcfa et 1 kg vundu catfish = 1500 Fcfa.

4. Discussion

The interpretation of the effects of stocking density on fish growth and body composition is complex as the results are affected by many interrelated factors such as water quality, composition of feed and size of the ration (Hepher, 1988). In our study, water quality parameters were found to be similar in all compartments. The same feed was used and the ration was fixed similarly in all compartments. Results from this study showed that both growth rate and production of African catfish (2.07 % day⁻¹ and 22.8 t ha⁻¹ year⁻¹, respectively) and vundu catfish (1.61 % day⁻¹ and 15.1 t ha⁻¹ year⁻¹, respectively) were found better over stocking at density of 8 fish m⁻³. With both species, apparent food conversion rate (AFCR) was lower at high (1.1 and 1.7 with African and vundu catfishes, respectively) than at low stocking density (3.4 and 2.1 with African and vundu catfishes, respectively). The highest body fat content was also observed at density of 8 fish m⁻³ while protein and moisture did not show any significant difference among treatments.

The growth performances obtained for African catfish and vundu in the present study figure well in the range of those reported in literature (Hogendoorn and Koops, 1983; Viveen et al., 1985; Legendre et al., 1992; de Graaf et al., 1996). Under field conditions, Hogendoorn and Koops (1983) found that African catfish reached 300 g in 22 weeks. During the same period, but in fertilized ponds and without supplemental food, Bok and Jongbloed (1984) obtained only 135 g for African catfish. de Graaf et al. (1996) reported 200-300 g for African catfish after 6 month in polyculture with

Oreochromis niloticus in pond. Viveen et al. (1985) in monoculture rearing reported lower final body weight (62 g) of African catfish in 13 week.

Growth and production of African catfish in this study was directly density dependent, i.e. fish grown at the highest density achieved the highest final mean weight and production value. This is in agreement with results reported for African catfish raised in ponds (Hogendoorn and Koops, 1983), in cages (Hengsawat et al., 1997) or in tanks (Machiels and Van Dam, 1987; Almazán-Rueda, 2004). Hogendoorn and Koops (1983) found that the highest biomass was achieved at the highest stocking density for African catfish cultured in pond. Hengsawat et al. (1997) reported increasing daily instantaneous growth rate and total production of juvenile African catfish (initial mean weight 32g) reared when densities increased from 33 to 133 fish m⁻³. Similarly, Almazán-Rueda (2004) found that juvenile African catfish kept at high stocking density (2500 fish m⁻³ vs. 250) were heavier and had a higher SGR than those kept at low stocking density. In vundu catfish, no significant density treatment effect on growth was observed although growth rate increased with increasing stocking density. Similar scenario was observed by Kerdchuen and Legendre (1992) in vundu catfish (initial mean weight 110g) reared in tank under densities ranging from 56 to 555 fish m⁻³. The relationships between stocking density and growth and production obtained in the present study with both species agree with many reports on other fish species such as sutchi catfish (*Pangasius sutchi*) in cage (Rahman et al. 2006), channel catfish (*Ictalurus punctatus*) raised in raceway (Woiwode and Adelman, 1989) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) in cages (Daungsawasdi et al., 1986) or in open pond (Yi et al., 1996). The underlying mechanisms causing increasing growth and production with increasing density are still poorly understood. However, according to Hecht et al. (1997), African catfish can be grown at very high densities because they are air-breathers, have a relatively high tolerance to poor water quality conditions and display unusual behavioural responses under high density conditions.

Indeed, Hecht and Uys (1997) found that the level of aggression decreased dramatically with increasing density. This is in accordance with Kaiser et al. (1995b) reporting that agonistic behaviour in African catfish was highest at low stocking densities. In vundu catfish, Kerdchuen and Legendre (1992) also reported decreasing level of aggression with increasing density. Aggressiveness, territorial defence and development of hierarchies and individual dominance in fish cost a lot of energy which otherwise would be used for growth (Hecht and Uys, 1997).

Although vundu catfish are known to grow faster than African catfish as reported by previous studies (Legendre et al. 1992; Hecht et al. 1996; Otémé et al. 1996), our results showed a deviation from this trend with increasing stocking density. Does that want to mean that vundu is less efficient than African catfish under high stocking density? Our results and those reported by Kerdchuen and Legendre (1992) can support this hypothesis. Vundu catfish is probably less adapted to traditional whedo environment than African catfish. Despite the fact that vundu is present in the Oueme River, this species had never been caught in whedos (Welcomme, 1971).

In the present study, AFCR was significantly influenced by increasing stocking density of African catfish. This was in agreement with other reports in African catfish as well as in other species (Cruz and Ridha, 1989; Watanabe et al., 1990; Almazán-Rueda, 2004). The reduction of food conversion rate with increasing density can be

attributed to the feeding behaviour of catfish (Hecht and Uys, 1997; Almazán-Rueda, 2004). Hecht et al. (1997) reported that at high density, African catfish react faster to the presence of food and consume a meal much faster than at low density. Hecht and Uys (1997) also found that the time it took for fish to respond to food and to consume a meal decreased with increasing density. In earthen pond such as whedo, food conversion may be influenced by the amount of natural food. However, at high stocking density, natural production, although not analysed in this study, was probably low because of high grazing, and fish were more closely dependent on the formulated diet than at low density. Formulated food is more energetic than plankton and macroinvertebrates, which were probably more consumed by fish at low density. In this case, ammonia from uneaten feed which is not checked during the present study, could also explain the high AFCR observed with slower growing fish which have the potential for excess feed.

Hitherto, meagre information is available on body composition of African and vundu catfishes according to stocking conditions. Data from the present study showed that increasing stocking density influenced body composition resulting in increased fat level and decreased protein and moisture levels at high stocking density. It cannot be concluded whether this body composition is directly influenced by stocking conditions, or indirectly due to differences in feeding (higher part of natural food at low density), growth rate or fish size at the harvest. In channel catfish, Robinson et al. (2003) reported that fast growing fish are generally high in body fat and low in moisture and protein concentrations compared with slow-growing fish. Percent moisture and percent fat of whole body are generally negatively associated, as shown by Wilson et al. (1988) in Channel catfish. In other teleosts, a weight increase was also accompanied by body fatness increases as well (*Cyprinus carpio*, Adelman, 1977, 1978; *Ictalurus melas*, Kayes, 1977).

Although all fishes harvested after the 70 days rearing not reached their optimum size in regard to market (>250 g), production economics revealed that high stocking density (8 fish m³) gave the highest net benefit and best benefit-cost ratio (BCR). Moreover, at high densities raising of African catfish is more profitable than vundu in whedo.

5. Conclusion

This study has shown that the two African catfishes (*C. gariepinus* and *H. longifilis*) can be efficiently grown in whedo and can generate 3 - 5 tons per hectare in only 2.5 months. So, raising in whedo is a viable alternative to increase catfishes production in Benin. In another hand, this study shows that African catfish are more able to support high stocking densities in whedo than vundu. While growth and production values increased with increasing stocking density, there must be a density from which mortality increased with simultaneous reduction in growth and production. For African catfish this critical density was not reached in this study even at the highest stocking density of 8 fish m⁻³ while vundu catfish is probably less suitable for rearing over 8 fish m⁻³ in whedo. Further research of optimal stocking density is needed since it may make the culture of these species in whedo more attractive to fish farmers in Benin.

Acknowledgements

This research was funded by the CBRST (Centre Béninois de Recherches Scientifiques et Techniques), the CUD-CIUF (University Co-operation towards Development - Interuniversity council of French Speaking Universities of Belgium) and the FUNDP (Namur University). We wish to thank other colleagues, research assistants and fishermen from Gangban village who provided many helps for successfully conducting the experiment.

References

- ADCP: Aquaculture Development and Coordination Programme, 1983. Fish feeds and feeding in developing countries. An interim report on the ADCP feed development programme. FAO-ADCP/REP/83 Rome, Italy; pp 18-97.
- Adelman, I.R., 1977. Effects of bovine growth hormone on growth of carp (*Cyprinus carpio*) and the influences of temperature and photoperiod. J. Fish. Res. Board Can. 34, 509-515.
- Adelman, I.R., 1978. Influence of temperature on growth promotion and body composition of carp (*Cyprinus carpio*) due to bovine growth hormone. Trans. Am. Fish. Soc. 107, 747-750.
- Almazán-Rueda, P., 2004. Towards assessment of welfare in African catfish, *Clarias gariepinus*: the first step. PhD thesis, Wageningen University, The Netherlands, 151pp.
- Appelbaum, S., Van Damme, P., 1988. The feasibility of using exclusively artificial dry feed for the rearing of Israeli *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) larvae and fry. J. Appl. Ichthyol. 4, 105–110.
- Baras E., Tissier F., Westerloppe L., Mélard C. & Philippart J.C. (1998). Feeding in darkness alleviates density-dependent growth of juvenile vundu catfish *Heterobranchus longifilis* (Clariidae). Aquat. Living Resour., 11 (5), 335-340.
- Begout-Anras, M.L., Lagardère, J.P., 2004. Domestication et comportement chez les poissons téléostéens. INRA Prod. Anim., 17(3), 211-215.
- Bligh, E.G., Dyer, W.J., 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification. Can. J. Biochem. Physiol. 37, 911–917.
- Bok, A.H., Jongbloed, H., 1984. Growth and production of sharptooth catfish, *Clarias gariepinus* (Pisces: Clariidae) in organically fertilized ponds in the Cape Province, South Africa. Aquaculture, 36, 141–155.
- Cruz, E.M., Ridha, M., 1989. Preliminary study on the production of tilapia, *Oreochromis spilurus* (Günther), cultured in seawater cages. Aquac. Fish. Manage. 20, 381–388.
- Daungsawasdi, S., Chomchei, C., Yamorbsin, R., Kertkomut, B., 1986. Net cage culture of tilapia and puntius in Klong Praew irrigation tank. Tech. Pap. NIFI No. 64, Bangkok, Thailand, 10 pp.
- de Graaf, G.J., Galemoni, F., Banzoussi, B., 1996. Recruitment control of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, by the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) and, the African snakehead, *Ophiocephalus obscuris*. I. A biological analysis. Aquaculture, 146, 85-100.

- Ewa-Obobo, I.O., Enyenihi, U.K., 1999. Aquaculture implications of growth variation in the African catfish: *Heterobranchus longifilis* (Val.) reared under controlled conditions. *J. Appl. Ichthyol.* 15, 111-115.
- Grant, J.W.A., 1997. Territoriality. In: Godin, J.G.J. (Ed.), *Behavioural Ecology of Teleost Fishes*. Oxford Univ. Press, Oxford, pp. 81-103.
- Haylor, G.S., 1991. Controlled hatchery production of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822): growth and survival of fry at high stocking density. *Aquacult. Fish. Manage.*, 22, 405-442.
- Haylor, G.S., 1992. Controlled hatchery production of *Clarias gariepinus* (Burchell) : growth and survival of larvae at high stocking density. *Aquaculture and Fisheries Management*, 23, 303-314.
- Hecht, T., Appelbaum, S., 1988. Observations on intraspecific aggression and coeval sibling cannibalism by larval and juvenile *Clarias gariepinus* (Clariidae; Pisces) under controlled conditions. *J. Zool., Lond.*, 214, 21-44.
- Hecht, T., Oellermann, L., Verheust, L., 1996. Perspectives on clariid catfish culture in Africa. *Aquatic Living Resources.*, vol. 9 (Hors série), 197-206.
- Hecht, T., 1982. Intensive rearing of *Clarias lazera* larvae (Claridae: Pisces). *S. Afr. J. Wildl. Res.* 12, 101-105.
- Hecht, T., Uys, W., 1997. Effect of density on the feeding and aggressive behaviour in juvenile African catfish, *Clarias gariepinus*. *S. Afr. J. of sci.* 93, 537-541.
- Hecht, T., Sorgeloos, P., Verreth, J., Ollevier, F., 1997. Guide to the biology and culture of the African catfish. Website project funded by the Flemish Ministry of Education, the University of Ghent, Rhodes University and Liberty Life Educational Foundation, Johannesburg. <http://cdserver2.ru.ac.za/cd/catfish>.
- Hengsawat, K., Ward, F.J., Jaruratjamorn, P., 1997. The effect of stocking density on yield, growth and mortality of African catfish (*Clarias gariepinus* Burchell 1822) cultured in cages. *Aquaculture*, 152, 67-76.
- Hepher, B., 1988. *Nutrition of pond fishes*. Cambridge Univ. Press, New York, USA, 388 p.
- Hogendoorn, H., Koops, W.J., 1983. Growth and production of African catfish, *Clarias lazera* (C. and V.). I. Effects of stocking density, pond size and mixed culture with tilapia (*S. niloticus* L.) under extensive field conditions. *Aquaculture*, 34, 253-263.
- Kaiser, H., Weyl, O., Hecht, T., 1995a. Observations on agonistic behaviour of *Clarias gariepinus* larvae and juveniles under different densities and feeding frequencies in a controlled environment. *J. of Appl. Ichthyol.* 11, 25-36.
- Kaiser, H., Weyl, O., Hecht, T., 1995b. The effect of stocking density on growth, survival and agonistic behaviour of African catfish. *Aquac. Int.* 3, 217-225.
- Kayes, T., 1977. Effects of temperature on hypophyseal (growth hormone) regulation of length, weight, and allometric growth and total lipid and water concentrations in the black bullhead (*Ictalurus melas*). *Gen. Comp. Endocrinol.* 33, 382-393.
- Kerdchuen, N., Legendre, M., 1992. Effect favorable des fortes densités pour l'adaptation d'un silure africain, *Heterobranchus longifilis* (Pisces, Clariidae) en bacs de petit volume, *Rev. Hydrobiol. Trop.* 25, 63-67.

- Legendre, M., Teugels, G.G., Cauty, C., Jalabert, B., 1992. A comparative study on morphology, growth rate and reproduction of *Clarias gariepinus*, *Heterobranchus longifilis* and their reciprocal hybrids (Pisces, Clariidae). J. Fish Biol. 40, 59-79.
- Machiels, M.A.M., Van Dam, A., 1987. A dynamic simulation model for growth of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). III. Effect of body composition on growth and feed utilization. Aquaculture 60, 55-71.
- Nonfon, M., 1988. Données préliminaires sur l'écologie et la production halieutique des « trous à poissons » de la rive gauche de la basse vallée de l'Ouémé. Mémoire d'Ingénieur Agronome, FSA/UNB, 152 pp.
- Noutai, J., 1987. Etude sur les possibilités d'amélioration des « trous à poissons » dans la vallée de l'Ouémé. Mémoire de DEAT, CPA2, Sékou, 52 pp.
- Otémé, Z. L., Hem, S., Legendre, M., 1996. Nouvelles espèces de poissons-chats pour le développement de la pisciculture africaine. Aquat. Living Resour., 9 (hors série), 207-217.
- Pechar, L., 1987. Use of an acetone:methanol mixture for the extraction and spectrophotometric determination of chlorophyll *a* in phytoplankton. Arch. Hydrobiol. Suppl. 78, 99-117.
- Rahman, M.M., Islam, M.S., Halder, G.C., Tanaka, M., 2006. cage culture of sutchi catfish, *Pangasius sutchi* (Fowler 1937): effects of stocking density on growth, survival, yield and farm profitability. Aqua. Res. 37, 33-39.
- Robinson, E.H., Li, M.H., Manning, B.B., 2003. How a catfish reaches commercial weight is key to composition. Catfish J. 18 (3), 12.
- Saville, D.J., 1990. Multiple comparison procedures: the practical solution. American Statistician 44 (2), 174-180.
- Viveen, W.J.A.R., Richter, C.J.J., van Oordt, P.G.W.J., Janssen, J.A.L., Huisman, E.A., 1985. Practical manual for the culture of the African catfish (*Clarias gariepinus*). The Netherlands Ministry for Development Cooperation, Section for Research and Technology, 128 pp.
- Watanabe, W.O., Clark, J.H., Dunham, J.B., Wicklund, R.I., Olla, B.I., 1990. Production of fingerling Florida red tilapia (*Tilapia hornorum* x *T. mossambica*) in floating marine cages. Prog. Fish-Cult. 52, 158-161.
- Welcomme, R.L., 1971. Evaluation de la pêche intérieure, son état actuel et ses possibilités. Rome, FAO AT 2938, 95 pp.
- Wilson, R.P., Poe, W.E., Nemetz, T.G., MacMillan, J.R., 1988. Effect of recombinant bovine growth hormone administration on growth and body composition of channel catfish. Aquaculture 73, 229-236.
- Woiwode, J.G., Adelman, I.R., 1989. Influence of density and multipass water use on channel catfish performance in raceways. Prog. Fish-Cult., 51, 183-188.
- Yi, Y., Kwei Lin, C., Diana, J.S., 1996. Influence of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) stocking density in cages on their growth and yield in cages and in ponds containing the cages. Aquaculture 146, 205-215.

2.5. Notes complémentaires sur l'effet des densités élevées de stockage sur la croissance, la production et la rentabilité économique de l'élevage de *C. gariepinus* en whedos

2.5.1. Contexte et objectif

Les résultats présentés dans le chapitre 2.5 montrent une amélioration de la production en fonction de la densité d'élevage aussi bien chez *Clarias gariepinus* que chez *Heterobranchus longifilis*. Chez *H. longifilis*, bien que les productions soient plus élevées aux densités de 4 ou 6 poissons m⁻³, comparativement à celles du *Clarias* aux mêmes densités, le potentiel de croissance émanant de l'élevage de cette espèce en whedos reste cependant limité. Par contre, chez *C. gariepinus*, on constate une amélioration significative de la production et de la croissance avec l'augmentation de la densité de mise en charge. Nous avons donc voulu compléter ces données en déterminant, sur base de mise en charge à forte densité, la valeur optimale au-delà de laquelle on observerait une augmentation des mortalités simultanément avec une diminution de la croissance et par conséquent de la production.

2.5.2. Méthodologie

Le protocole expérimental a été identique à celui du chapitre 2.5. Les densités de 8, 16 et 24 poissons m⁻³ ont été testées en triplicat de mars à juin 2007, soit durant 88 jours. L'aliment distribué (CatCo Growers-12 EF, 4,5 mm) était sous forme de granulés stables dans l'eau et contenait 40 % de protéines. Les poissons étaient nourris trois fois par jour, et les paramètres physico-chimiques de l'eau tels que le pH, les taux d'ammonium (NH₄⁺), de nitrite (NO₂⁻) et de nitrate (NO₃⁻) étaient dosés tous les 15 jours environ sur des échantillons d'eau prélevés dans chaque compartiment. La méthode spectrophotométrique (Hach, DR 2010) de Nessler a été utilisée pour le dosage du NH₄⁺. Les nitrites ont été dosés par diazotisation au Nitriver⁽³⁾ et les nitrates par la méthode de réduction au cadmium en utilisant le Nitraver⁽⁵⁾.

Une analyse économique et financière de la production en whedos a été réalisée sur base d'une simulation d'élevage. Les bilans et ratios suivants ont été calculés et interprétés :

- L'amortissement annuel est calculé en fonction de la durée de vie des équipements (coût / durée de vie)
- Cash-flows = Bénéfice net + amortissement
- Seuil de rentabilité = (charges fixes x résultat d'exercice) / marge sur coût variable
- Marge sur coût variable = résultat d'exercice – charges variables
- Taux de rentabilité économique = (résultat d'exercice x 100) / fond de roulement.

2.5.3. Résultats et interprétation

Aspects zootechniques

Les résultats zootechniques obtenus à l'issue de cette expérience sont présentés dans le tableau 1. La survie des poissons a été bonne dans tous les cas et est comprise entre 75 et 100 %. Seuls les résultats en termes de croissance et de production ont montré des variations significatives en fonction de la densité. Avec les densités de 16 et 24 poissons m^{-3} , on a observé une diminution de la croissance comparativement à la densité de 8 poissons m^{-3} , tandis que la production par compartiment augmente significativement ($P < 0.05$), sans toutefois différer de manière significative entre 16 et 24 poissons m^{-3} (Tableau 1).

En intégrant ces résultats à ceux du chapitre 2.5 obtenus dans les mêmes conditions d'élevage (alimentation, qualité de l'eau, saison d'élevage, etc.), on constate que le poids moyen final augmente progressivement en passant de 4 à 8 poissons m^{-3} , mais au-delà de 8 poissons m^{-3} , on observe une diminution de la croissance, et cette diminution devient significative à 24 poissons m^{-3} (Fig. 1a) tandis que la production continue à augmenter (Fig. 1b). En utilisant une relation polynomiale du 2nd degré entre la densité de mise en charge et la production, la figure 2 nous montre que la densité de 10,5 poissons m^{-3} semble être optimale pour une meilleure exploitation des potentialités zootechniques de *C. gariepinus* en whedos et la densité de 21 poissons m^{-3} apparaît comme une mise en charge maximale. Des densités nettement supérieures devraient toutefois être testées afin de confirmer cette tendance.

Tableau 1 : Performances zootechniques de *C. gariepinus* élevé à différentes densité en whedo (CV initial = 40,2 %).

Paramètres	Densité de stockage (poissons m^{-1})			P
	8	16	24	
Poids moyen initial (g)	23,7 ± 2,4	26,7 ± 1,5	24,8 ± 1,1	0,192
Poids moyen final (g)	128,2 ± 3,2 ^a	126,5 ± 8,5 ^a	109,5 ± 7,8 ^b	0,028
TCS (% jour ⁻¹)	1,92 ± 0,12 ^a	1,77 ± 0,08 ^{ab}	1,69 ± 0,10 ^b	0,069
Survie (%)	90,0 ± 13,2	96,7 ± 5,8	92,2 ± 9,1	0,169
Production (t ha ⁻¹ an ⁻¹)	15,2 ± 2,7 ^b	31,6 ± 2,3 ^a	36,2 ± 6,5 ^a	0,002
CV* (%)	37,2 ± 9,0	43,0 ± 6,4	66,9 ± 40,1	0,142
Facteur de condition (K)	0,82 ± 0,01	0,71 ± 0,02	0,77 ± 0,09	0,121
TCA	1,14 ± 0,14	1,39 ± 0,02	1,45 ± 0,24	0,116

*CV : Coefficient de variation du poids individuel final ; TCS : Taux de croissance spécifique ; TCA : Taux de conversion alimentaire ; les moyennes de la même colonne ayant une lettre en commun ne sont pas significativement différents ($P > 0,05$).

La réduction de la croissance observée au delà de 8 poissons m^{-3} est probablement due à une accumulation croissante des composés azotés (notamment l'ammoniaque) dans le milieu. En effet, l'utilisation de quantités plus importantes d'aliment qu'implique l'augmentation des densités de stockage de même que le métabolisme des

poissons qui deviennent de plus en plus nombreux par unité de surface, entraînent une plus grande production de métabolites azotés. Si le NH_4^+ est la forme dominante de l'ammoniac compte tenu du pH légèrement acide de l'eau des whedos (pH entre 6 et 6,7), les faibles teneurs en oxygène dissous des whedos ($< 2,8 \text{ mg L}^{-1}$) ne permettent pas une évolution rapide du processus de nitrification, ce qui explique l'accumulation progressive du NH_4^+ , et les faibles concentrations de NO_2^- et de NO_3^- dans les compartiments (Fig. 3). Peu de mortalités peuvent toutefois être imputées à la dégradation de la qualité de l'eau, car *C. gariepinus* est très résistant aux métabolites azotés, et les rares mortalités enregistrées étaient plutôt dues aux agressions entre individus ou confondues aux poissons n'ayant pas pu être capturés pendant la récolte finale.

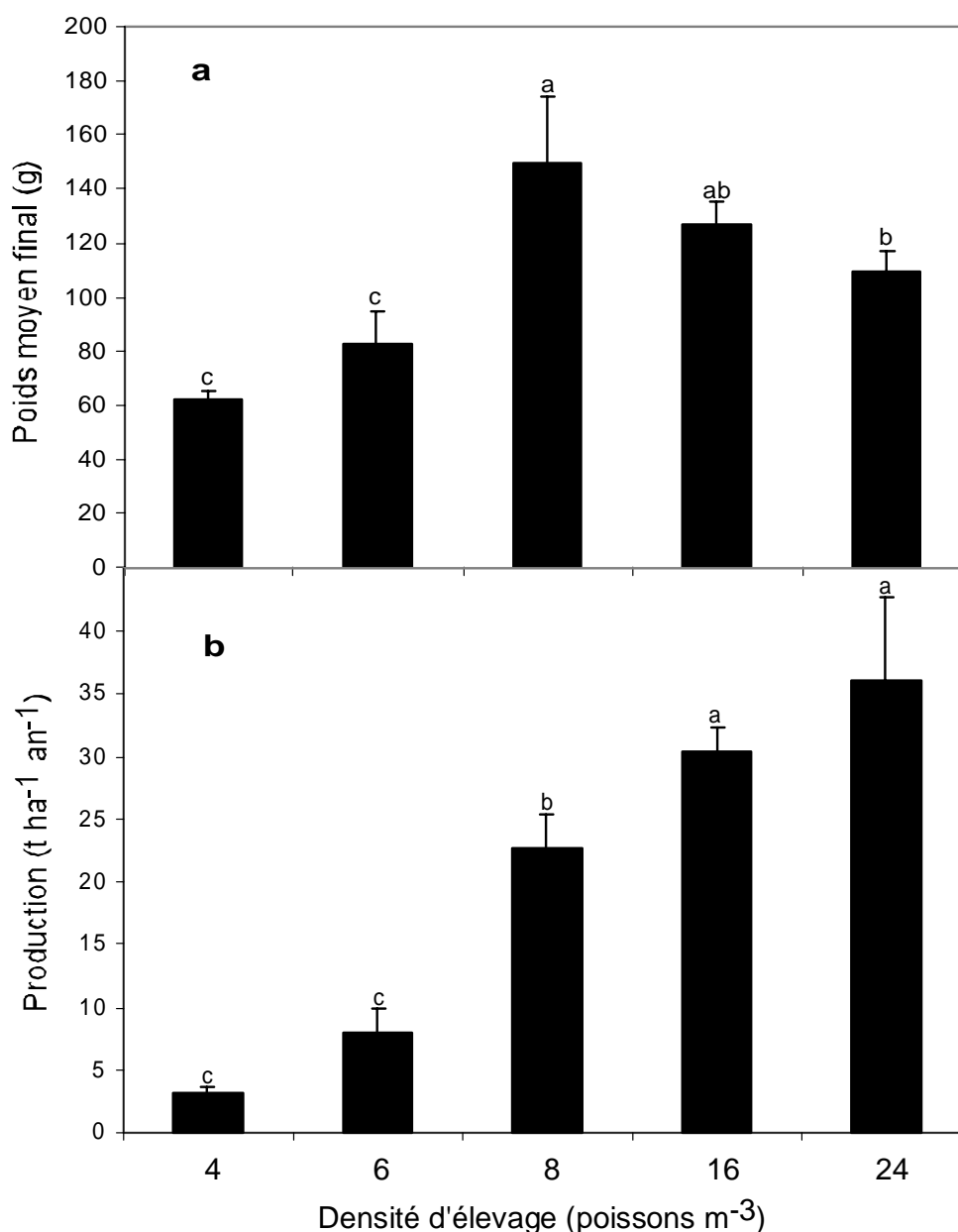


Fig. 1 : Poids moyen final (a) et production (b) de *C. gariepinus* élevé à des densités croissantes en whedos.

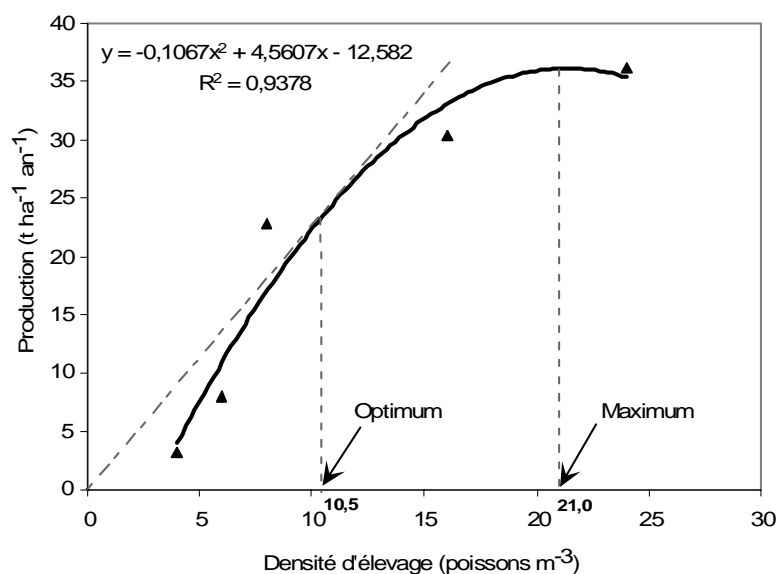


Fig. 2 : Relation entre densité d'élevage et production chez *C. gariepinus* élevé en whedo.

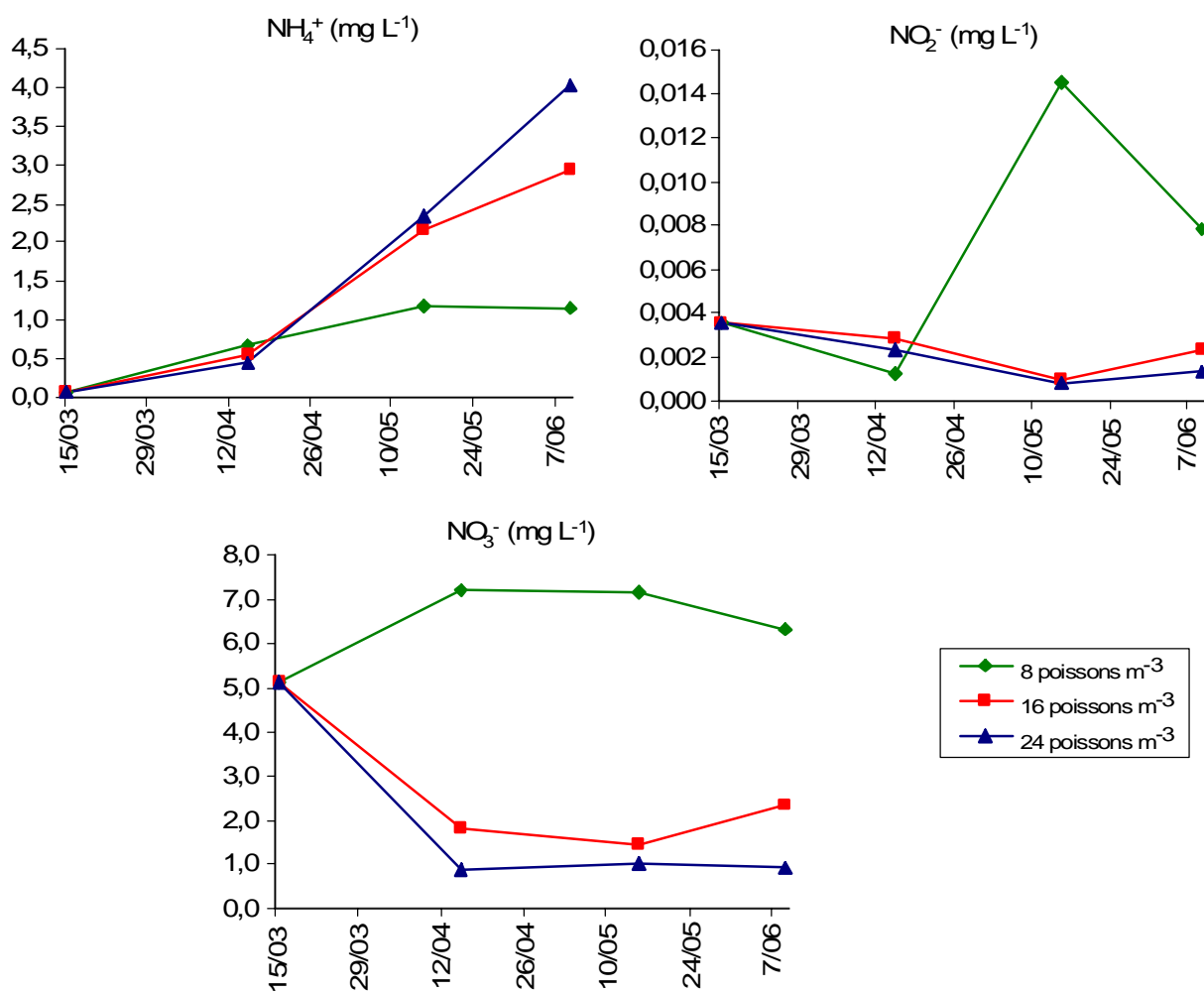


Fig. 3 : Evolution des composés azotés dans les whedos au cours de l'élevage (pH : 6 à 6,7).

Analyses économique et financière

Le compte d'exploitation d'une simulation d'élevage de *C. gariepinus* à différentes densités en whedo (1 ha) est présenté dans le tableau 2. L'analyse de ce tableau montre une évolution croissante du cash-flow en fonction de la densité de mise en charge. Ces augmentations peuvent s'expliquer par la consommation progressive des capacités de production non exploitées d'une densité à l'autre.

Tableau 2 : Compte d'exploitation prévisionnel d'un élevage de *C. gariepinus* (poids moyen initial de 30 g environ) de mars à mi-juin en whedo.

Eléments (Fcfa* ha ⁻¹)	Densité d'élevage (poissons m ⁻³)				
	4	6	8	16	24
Charges					
<i>Investissement</i>					
Coût du whedo	7.000.000	7.000.000	7.000.000	7.000.000	7.000.000
Filet et autres matériels	90.000	90.000	90.000	90.000	90.000
<i>Charges fixes</i>					
Exploitation et entretien du whedo	15.000	15.000	15.000	15.000	15.000
Transport des alevins	30.000	30.000	30.000	30.000	30.000
Amortissement (whedo et matériel)	76.667	76.667	76.667	76.667	76.667
<i>Charges variables</i>					
Coût des alevins ¹	1.500.000	2.250.000	3.000.000	6.000.000	9.000.000
Coût d'alimentation ²	434.300	656.900	1.004.500	2.259.887	2.643.309
Total des charges	2.055.967	3.028.567	4.126.167	8.381.554	11.764.975
Recettes					
Production (kg)	3.100	7.900	22.800	30.400	36.200
Total de la recette ³	3.720.000	9.480.000	27.360.000	36.480.000	43.440.000
Bilan et ratio					
Résultat d'exercice	1.664.033	6.451.433	23.233.833	28.098.446	31.675.025
Remboursement du capital	-	-	-	-	-
Taxes diverses	-	-	-	-	-
Revenu net	1.664.033	6.451.433	23.233.833	28.098.446	31.675.025
Cash-flows	1.740.700	6.528.100	23.310.500	28.175.113	31.751.691
Seuil de rentabilité	253.458	177.582	143.077	158.037	167.151
Taux de rentabilité économique (%)	18	64	209	183	169

*1 € = 655,957 Fcfa ; ¹75 Fcfa par alevin de *Clarias* ; ²1 kg d'aliment de fabrication local (40 % de protéine) = 213 Fcfa ; ³1 kg de *Clarias* = 1.200 Fcfa.

Le seuil de rentabilité, encore appelé « break-even point », représentant ici la recette minimale au delà de laquelle l'élevage génère du profit est atteint dans tous les cas (Tableau 2). Il est néanmoins plus bas lorsque les poissons sont élevés à la densité de 8 poissons m⁻³, et généralement élevé aux faibles densités (4 ou 6 poissons m⁻³).

Cependant, afin que l'élevage soit rentable dès la première année de production, il est indispensable que la densité de mise en charge soit supérieure à 5,2 poissons m^{-3} comme le montre le graphique du point mort (Fig. 4). Le taux de rentabilité économique qui est un indicateur pertinent de l'efficacité du processus de production, bien que bonne dans tous les cas, indique cependant une plus grande valeur ajoutée (plus de 100 % du capital investi), lorsque l'élevage est effectué à des densités supérieures à 8 poisson m^{-3} . La chute de rentabilité observée entre les densités de 8 à 24 poisson m^{-3} est due à l'évolution des recettes qui ne sont pas proportionnelles aux charges d'exploitation. Bien que les potentialités zootechniques soient optimisées à la densité de 10,5 poissons m^{-3} , le revenu net obtenu avec la densité de 24 poissons m^{-3} semble plus intéressant pour les producteurs, aussi longtemps qu'ils pourront supporter les charges de leur exploitation. Il convient toutefois de noter qu'à densité plus élevée, les risques de pertes de productivité, dus notamment à la dégradation de la qualité du milieu et ses conséquences sur la croissance, sont à craindre à tout moment, surtout dans les whedos où la qualité de l'eau n'est pas maîtrisable. Dans tous les cas, l'élevage en whedos, techniquement faisable, s'avère aussi économiquement rentable. Les difficultés en amont de cette activité, notamment la disponibilité en nombre suffisant de juvéniles des silures *C. gariepinus* et *H. longifilis* au Bénin, reste donc le facteur limitant du développement de leur élevage à grande échelle dans les whedos.

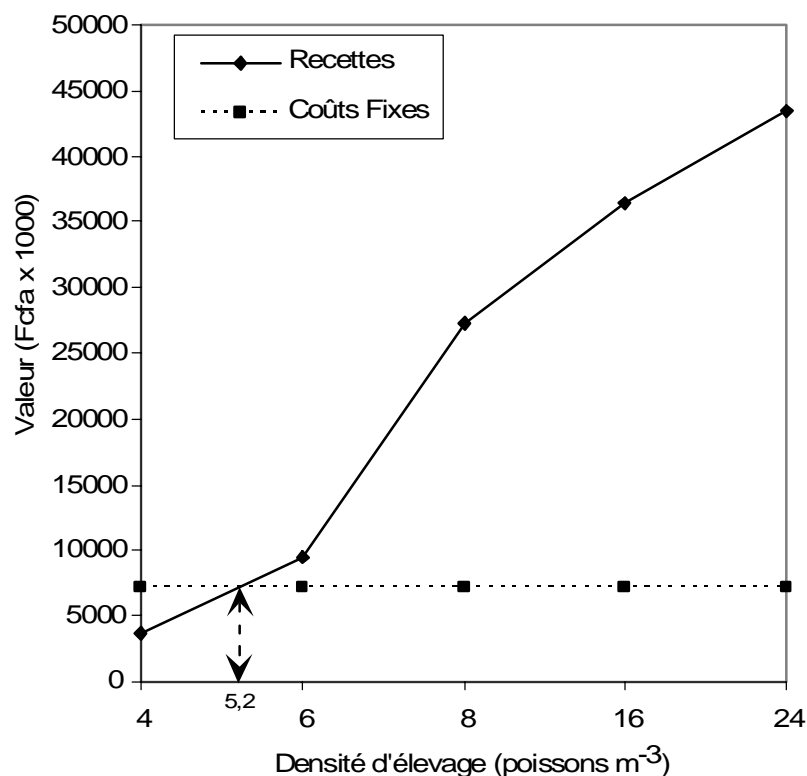


Fig. 4 : Evolution des recettes générées par l'élevage de *C. gariepinus* en whedo en fonction des charges fixes de l'exploitation et des densités de mise en charge.

*3. PRODUCTION D'ALEVINS DE CLARIAS
GARIEPINUS ET HETEROBRANCHUS
LONGIFILIS :*

QUELQUES ASPECTS ZOOTECHNIQUES ET NUTRITIONNELS

3.1. Résumé

La production d'un grand nombre d'alevin des silures *Clarias gariepinus* et *Heterobranchus longifilis* est la condition de base pour la promotion et le développement de leur élevage au Bénin en général et dans les whedos du delta de l'Ouémé en particulier. En effet, bien que les techniques élémentaires de reproduction artificielle, d'alevinage et de prégrossissement de ces espèces soient connues, la maîtrise de certains paramètres critiques de leur élevage est, cependant, encore nécessaire pour une optimisation de leur performances zootechniques, notamment au stade larvaire et post larvaire. Dans ce contexte, et afin d'obtenir un grand nombre de larves et de post larves pouvant évoluer dans les structures de prégrossissement, il nous est apparu indispensable de déterminer, chez les larves de *H. longifilis* en particulier, les périodes adéquates de sevrage, de même que les densités optimales de stockage durant cette période. Les expériences avec les larves ont été réalisées dans de petits aquariums isolés (Fig. 1A) ou reliés en circuit fermé (Fig. 1B), tandis que les expériences de prégrossissement ont eu lieu dans des bassins hors-sol reliés en circuit fermé à la station piscicole de l'URZH (Fig. 2). Les aliments expérimentaux utilisés ont été fabriqués au moyen d'un robot mixer et granulés à l'aide d'un hachoir électronique (Fig. 3).

L'identification de l'âge adéquat de sevrage des larves de *H. longifilis* nous a permis d'observer que, comme déjà démontré chez *C. gariepinus*, plus tard les larves étaient sevrées, meilleurs étaient les performances en terme de croissance (65,1, 152,7, 149,0 et 183,3 mg, respectivement chez les larves sevrées aux jours 3, 5, 8 et 14 post-éclosion) et de survie (36,5, 58,7, 64,0 et 74,3 %, respectivement chez les larves sevrées aux jours 3, 5, 8 et 14 post-éclosion). C'est chez les larves non sevrées, et ayant reçu les nauplii d'*Artemia* durant toute la durée de l'expérience, que les plus forts poids moyen final (201,1 mg) et SGR (15,2 % jour⁻¹) ont été obtenus. Cependant, bien que les meilleures performances zootechniques soient obtenues chez les larves sevrées plus tard, le coût et les difficultés d'approvisionnement des cystes d'*Artemia* ne favorisent pas leur utilisation prolongée. Il nous paraît donc important d'identifier la période de sevrage faisant le meilleur compromis entre la croissance, la survie et la rentabilité économique de l'alevinage. Dans ce contexte, le sevrage des larves entre le jour 5 et le jour 8 post-éclosion nous semble nécessaire, aussi bien pour limiter l'utilisation d'*Artemia*, que pour atteindre plus facilement l'objectif de production massive d'alevins de cette espèce. Les performances de production massive d'alevins de *H. longifilis* peuvent également être optimisées par l'utilisation de densité adéquate de stockage des larves au moment du sevrage. Au jour 6 post-éclosion, nous avons observé que plus la densité d'élevage était faible (5 larves L⁻¹), plus le poids moyen des larves était élevés (263,2 mg contre 102,8 mg chez les larves élevées à la densité de 50 individus L⁻¹). Cependant, les taux de survie étaient plus élevés (85 à 92 %) chez les larves maintenues aux fortes densités (25 à 50 larves L⁻¹, respectivement). Le maintien des larves de *H. longifilis* à des densités comprises entre 10 et 25 larves L⁻¹, nous paraît donc assez important pour atteindre le double objectif de produire rapidement de grand nombre d'alevins.



Fig. 1 : Dispositif d'élevage larvaire ; A : Pots en plastiques (1,5 L) disposés sur une table ; B : circuit fermé de l'écloserie de l'URZH.



Fig. 2 : Dispositif de prégrossissement ; A : Bassins d'élevage ; B : Système de filtration.



Fig. 3 : Fabrication d'aliment ; A : robot mixer ; B : hachoir électrique.

Dans cette partie de la thèse, nous avons aussi examiné les performances de différents régimes de fabrication locale, et contenant les tourteaux de coton et de soja, aussi bien en larviculture que pour le prégrossissement de *H. longifilis*. Chez les larves, le poids moyen final et le SGR étaient significativement meilleurs avec le régime à base de 40 % de tourteau de soja (129,2 mg et 16,2 % jour⁻¹), qu'avec les régimes à base de 40 % de tourteau de coton (75,2 mg et 13,2 % jour⁻¹), ou une combinaison des deux tourteaux (90,9 mg et 14,2 % jour⁻¹). Cependant, on n'a pas observé de différences significatives de survie, de cannibalisme et d'embonpoint entre les larves nourries avec les différents régimes.

Chez les juvéniles de *C. gariepinus*, aucune différence significative de croissance n'a été observée entre les poissons nourris avec les régimes contenant les tourteaux à 30 % (SBM30 et CSM30) et ceux nourris avec le régime témoin à base de farine de poisson (respectivement taux de croissance spécifique, TCS = 4,35, 4,14 et 4,32 % jour⁻¹ avec les régimes témoin, SBM30 et CSM30). L'incorporation de ces tourteaux jusqu'à 60 % dans les régimes réduisait significativement la croissance (TCS = 3,93 et 3,85 % jour⁻¹ avec SBM60 et CSM60, respectivement) comparativement aux régimes témoin ou CSM30. Par ailleurs, aucune différence significative d'utilisation alimentaire n'a été observée entre les régimes testés. Chez *H. longifilis* (Chapitre 7), l'incorporation de ces tourteaux jusqu'à 30 % dans les régimes (SBM30 et CSM30) a également permis d'obtenir des taux de croissance (5,80 et 5,43 % jour⁻¹, respectivement avec les tourteaux de soja et de coton) significativement identiques, voire supérieures à celui obtenu avec le régime témoin à base de farine de poisson (5,62 % jour⁻¹). Par contre, l'augmentation de ces tourteaux jusqu'à 60 % dans les régimes réduisait significativement la croissance (soit 5,34 et 4,89 % jour⁻¹, respectivement avec les régimes SBM60 et CSM60). Paradoxalement, on n'a pas observé de différences significatives en ce qui concerne l'efficacité et l'utilisation nette des protéines entre les régimes contenant 30 ou 60 % des tourteaux respectifs, bien que le régime CSM60 soit significativement moins efficace (efficacité alimentaire, EA = 1,02) que les autres (EA = 1,41, 1,26 et 1,24 pour SBM30, SBM60 et CSM30, respectivement).

Aussi bien chez les larves que les juvéniles, on a observé que l'utilisation des tourteaux de soja et de coton dans les régimes alimentaires pourrait affecter la composition corporelle en minéraux. Bien qu'aucune relation significative ne soit observée entre la composition corporelle des larves en minéraux (Ca, P, Mg, Fe, Zn et Mn) et la teneur en acide phytique des régimes utilisés, chez les juvéniles, on il était évident que la concentration des minéraux tels que le P, le Zn et le Mn, dans les muscle et la carcasse, étaient influencés par la teneur en acide phytique de l'aliment consommé. Il est donc nécessaire de tenir compte de la présence de ce facteur antinutritionnel, *a priori* thermostable, en fixant les niveaux d'incorporation de ces tourteaux dans les régimes alimentaires pour poissons en général et les poissons-chats en particulier.

3.2. Determination of appropriate age and stocking density of vundu larvae, *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes 1840) at the weaning time

Ibrahim Imorou Toko, Emile D. Fiogbe & Patrick Kestemont

Aquaculture Research (Accepté, sous presse)

Abstract

Two experiments were conducted in order to determine the appropriate age and stocking density of vundu catfish *Heterobranchus longifilis* at the weaning time. In the first experiment, five triplicate groups of 100 larvae (initial mean weight = 3.4 mg) per aquaria were stocked from first feeding (day 3 posthatch) to day 30 posthatch, and then weaned, on days 3 (W3), 5 (W5), 8 (W8) and 14 (W14), and an un-weaned group (An). Significant differences were observed in growth, survival, cannibalism, coefficient of weight variation and body composition among larvae weaned at different age and the control group. The later the larvae were weaned, the better were the growth performances (final mean weight: from 65.1 to 201.1 mg and SGR: from 11.0 to 15.2% day⁻¹) and the survival (from 36.5 to 74.3%). The experiment with stocking densities of 5, 10, 25 and 50 larvae L⁻¹ showed that increasing stocking density decrease growth performances and weight variation but improve survival rate of larvae. The best growth performances (SGR = 13.4 and 11.4% day⁻¹) with lowest survival rates (70.3 and 77.3%) were observed in larvae stocked at the densities of 5 and 10 larvae L⁻¹, respectively.

Key words: Vundu catfish; Larvae; Weaning age; Stocking density

**3.3. Use of soybean and cottonseed meals in practical diets for vundu catfish
(*Heterobranchus longifilis*) larvae during weaning: effect on growth,
survival and body mineral content**

Ibrahim IMOROU TOKO, Emile D. FIOGBE, Patrick KESTEMONT

Aquaculture Nutrition (Soumis)

Abstract

Soybean and cottonseed meals were used to replace fish meal in practical diets for vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*) larvae. Three isonitrogenous (430 g kg⁻¹ crude protein) practical diets (SBM: 40% soybean meal based diet, CSM: 40% cottonseed meal based diet and SBM+CSM: 20% soybean meal + 20 % Cottonseed meal based diet) were fed to duplicate groups of 300 larvae (initial mean weight: 7 mg) in each tank (20 L). A commercial African catfish (*Clarias gariepinus*) fry diet was used as control. Larvae were hand fed in excess, 7-days a week from days 8 to 26 posthatch (p.h.). At the end of this trial, the effects on growth, survival and body Ca, P, Mg, Fe, Zn and Mn contents were examined. The final mean weight and specific growth rate of larvae fed SBM (129.2 mg and 16.2 % day⁻¹) were significantly better ($P < 0.05$) than those fed CSM (75.2 mg and 13.2 % day⁻¹) or SBM+CSM (90.9 mg and 14.2 % day⁻¹). No significant differences ($P > 0.05$) were found for survival, cannibalism and condition factor between fish fed tested diets. Furthermore, only Fe, Zn and Mn were higher in fish fed CSM or SBM+CSM than those fed SBM, while their dietary level was similar.

Key words: cottonseed meal, growth, larvae, mineral contents, soybean meal, vundu catfish

3.4. Mineral status of African catfish (*Clarias gariepinus*, Burchell 1822) fed diets containing graded levels of soybean or cottonseed meals

Ibrahim IMOROU TOKO, Emile D. FIOGBE, Patrick KESTEMONT

Aquaculture (Accepté, sous presse)

Abstract

In order to assess the effect of increasing levels of dietary soybean meal (SBM) or cottonseed meal (CSM) on growth and body mineral composition of juvenile African catfish, five isonitrogenous (39 % crude protein) and isocaloric (13 kJ g⁻¹, digestible energy) diets containing various levels of soybean meal (SBM30 and SBM60) or cottonseed meal (CSM30 and CSM60) as partial replacement of fish meal (Control) were fed to triplicate groups of 50 fish (initial mean weight: 10.3 g) in each tank (0.9 m³). Over an 8-week feeding period, significant differences ($P<0.05$) were observed on growth, body nutrient and mineral composition between fish fed the experimental diets. Fish fed 600 g kg⁻¹ SBM or CSM-based diets had reduced growth compared to those fed a diet containing 300 g kg⁻¹ CSM or the control diet. Survival, feed utilization and hepatosomatic index were not significantly affected by the inclusion level of SBM or CSM in the diets. Fat content was higher in carcass and fillet of fish fed CSM-based diets than those fed SBM or fish meal-based diets. Body mineral composition in response to dietary treatment revealed a reduction in carcass Ca and P content with the increasing levels of SBM and CSM in the diets while Mg, K, Fe, Zn and Mn content in carcass did not show any marked change ($P>0.05$). However, fish fed SBM or CSM-based diets have reduced Zn in the fillet than those fed the control diet ($P<0.05$). Moreover, significant correlations were found between body mineral composition and dietary SBM, CSM or phytic acid level, respectively. This study showed that as well as growth is concerned, SBM and CSM can replace fish meal as a source of protein in compound feed for African catfish up to 300 g kg⁻¹. However, in regard to body mineral composition, the inclusion level of these ingredients in the diets should be less than 300 g kg⁻¹ and this may be mainly because of the presence of phytic acid in the feed ingredients used.

Key words: African catfish; Soybean meal; Cottonseed meal; Growth; Mineral composition

1. Introduction

Due to high cost and limited availability of fish meal in many countries, numerous studies on the utilization of soybean meal (SBM) and cottonseed meal (CSM) as partial or complete replacement for fish meal in catfish diets have been conducted during the last decades (Balogun and Ologhobo, 1989; Webster et al., 1995; Phonekhampheng, 1996; Hoffman et al., 1997; Falaye and Ahwieh, 1998; Van Weerd et al., 1999; Fagbenro and Davies, 2001; Imorou Toko et al., 2007a). In general, these studies have shown that replacement of fish meal by inappropriate SBM or CSM levels cause a reduction in growth and reproduction performances and in addition a decrease in feed intake and feed efficiency. Although it is known that these vegetable oil meals contain compounds that can affect the availability of minerals for commonly cultured fish species (Gatlin and Wilson, 1984; Hossain and Jauncey, 1991; Storebakken et al., 1998; Francis et al., 2001; Imorou Toko et al., 2007a), few studies have appraised the mineral composition of African catfish fed SBM or CSM based diets

Phytic acid is the main antinutrient factor which has a great influence on mineral availability in teleost fish (Hartman, 1979; Papatryphon et al., 1999). Most vegetable feed ingredients used in fish diets contain phytic acid in the range of 5 to 30 g kg⁻¹ (Reddy, 2002) and approximately 70% of total phosphorus in SBM and CSM is bound as phytate (Lall, 1991) and therefore not available for fish. Moreover, phytic acid readily chelates di- and trivalent cations such as calcium, magnesium, manganese, iron and zinc at intestinal pH, thus reducing the availability of these minerals (Liener, 1981; Watanabe et al., 1997; Papatryphon, 1999). Contrary to trypsin inhibitor and gossypol which are often destroyed by heat treatment during SBM and CSM production process (Herkelman et al., 1991; Bollini et al., 1999; Elmaki et al., 2007), phytic acid is heat-stable (Hardy and Barrows, 2002) and therefore becomes the main antinutrient factor in these plant ingredients, limiting the level of their inclusion in diets for most monogastric animals and fish.

The present study aimed to determine whether the inclusion and levels of dietary SBM and CSM affects the mineral composition of African catfish under rearing conditions.

2. Materials and methods

2.1. Experimental diets

Based on the composition of the main ingredients used (Table 1), five experimental diets were formulated to contain various levels of soybean meal (SBM30 and SBM60) or cottonseed meal (CSM30 and CSM60) as partial replacement of fish meal (Table 2). The control diet was formulated to be similar to a high-quality African catfish diet which usually contains fish meal as the main protein source (about 80% of total protein). Crude protein and energy content were fixed to meet the requirements of African catfish (Degani et al., 1989). All diets were formulated isonitrogenous (about 39% protein) and isocaloric (about 13 kJ g⁻¹, digestible energy). The protein content of the diets was balanced by adjusting maize meal level according to the level of dietary SBM or CSM. Local palm oil (Ovograin Feed Depot, Abomey-Calavi, Benin) and

menhaden fish oil (Sigma-Aldrich Chemie, Steinheim, Germany) were used as dietary lipid sources. Blood meal was used as complementary protein source to achieve dietary protein requirements of African catfish. According to El-Saidy and Gaber (2004), iron as ferrous sulphate was used to counteract a possible toxicity of free gossypol in the CSM-based diets.

Table 1

Proximate composition (dry matter basis), fiber, phytic acid and gossypol of main ingredients used in experimental diets

(g kg ⁻¹)	Fish meal ^a	Soybean meal ^b	Cottonseed meal ^b	Blood meal ^c	Maize meal ^b
Dry matter (fresh matter basis)	920	884	877	846	899
Crude protein	653	414	405	779	105
Crude lipid	96	111	70	6	43
Ash	143	55	80	54	14
Fiber ^b	ns	60	140	ns	22
Lysine ^b	50.3	26.6	16.8	76.2	2.4
Methionine ^b	19.2	6.2	6.0	9.3	1.7
Methionine + Cystine ^b	25.2	12.7	13.3	16.8	3.7
Phytic acid	nd	5.7	3.6	nd	0.4
Gossypol	ns	ns	1.1	ns	ns

ns: not significant; nd: not detectable; ^aSupplied by Coppens International bv, The Netherlands; ^bSupplied by 'Ovograin Feed Depot', Benin; ^cObtained by heating and sun-drying slaughterhouse blood.

Diets were prepared by mixing the dry ingredients as described in Imorou Toko et al. (2007a). The diets were stored (4°C) in airtight plastic sealed bags until used. Ingredients and feed samples were analyzed by standard methods for moisture (oven drying at 105°C for 24 h), crude protein (N-Kjeldahl x 6.25), fat (extraction with chloroform-methanol, v/v, as described by Bligh and Dyer, 1959) and ash (oven incineration at 550°C), respectively. Digestible energy was estimated from diet ingredients according to New (1987). Diets were also analyzed for mineral composition and phytic acid (Table 3) using the same protocol described in Imorou Toko et al. (2007a).

All of these analyses were conducted at the biochemical laboratory in the Research Unit of Organismic Biology (URBO), University of Namur, Belgium.

Table 2

Composition (g kg⁻¹ dry matter basis) of the five experimental diets

Ingredients	Fish meal	Soybean meal		Cottonseed meal	
	Control	SBM30	SBM60	CSM30	CSM60
Menhaden fish meal	520	330	180	329.2	178.4
Soybean meal	0	300	590	0	0
Cottonseed meal	0	0	0	300	590
Maize meal	290	180	40	180	40
Blood meal	90	90	90	90	90
Menhaden fish oil ^a	30	30	30	30	30
Palm oil ^b	30	30	30	30	30
Vitamin premix ^c	15	15	15	15	15
Mineral premix ^d	15	15	15	15	15
Iron sulphate ^b	0	0	0	0.8	1.6
Carboxymethyl cellulose (binder) ^a	10	10	10	10	10
Proximate composition (g kg ⁻¹)					
Dry matter (fresh matter basis)	857	871	880	909	884
Crude protein	397	389	388	391	382
Crude lipid	101	115	119	98	86
Ash	99	87	76	96	95
Fiber ^{e,f}	15	31	45	55	92
Lysine ^{e,f}	84.9	82.0	81.7	73.9	67.5
Methionine ^{e,f}	28.5	23.9	20.6	23.8	20.7
Methionine + Cystine ^{e,f}	39.5	36.8	35.3	37.1	36.6
Digestible energy (kJ g ⁻¹) ^g	13.7	13.5	13.9	13.6	13.0
Antinutrients (g kg ⁻¹)					
Phytic acid	0.3	1.5	2.7	1.1	2.2
Phytate ^h	21	138	310	84	165
Gossypol ^e	0	0	0	0.3	0.6

^aFrom Sigma-Aldrich Chemie, Steinheim, Germany; ^blocally supplied by Ovograin Feed depot, Abomey-Calavi, Benin; ^cVit Mix Fish 0.5%, INVE Aquaculture, Belgium (composition per kg: Retinol palmitate: 2500000 IU; Cholecalciferol: 500000 IU; Tocophenol acetate: 30000 mg; Menadione: 2000 mg; Thiamine: 2000 mg; Riboflavine: 5000 mg; Panthotenic acid: 10000 mg; Niacin: 5000 mg; Pyridoxine: 4000 mg; Folic acid: 2000 mg; Cyanocobalamin: 4 mg; Ascorbic acid: 20000 mg; Biotin: 200 mg and Inositol: 80000 mg).

^dINRA Belgium, MLNP 763, (composition per kg: dibasic calcium phosphate: 500 g; calcium carbonate: 215 g; sodium chloride: 40 g; potassium chloride: 90 g; magnesium hydroxide: 124 g; iron sulfate: 20 g; zinc sulfate: 4 g; manganese sulfate: 3 g; cobalt sulfate: 0.02 g; potassium iodide: 0.04 g; sodium selenite: 0.03 g and sodium fluoride: 1 g); ^eBy calculation using value in Table 1; ^fTotal protein basis; ^gCalculated from nutrient content and according to New (1987): 17.8 kJ g animal protein⁻¹; 15.9 kJ g plant protein⁻¹; 33.5 kJ g lipid⁻¹; 12.5 kJ g carbohydrates⁻¹; ^hTotal phosphorus basis.

Table 3

Mineral composition of the 5 experimental diets (dry matter basis)

Diets	g kg ⁻¹				Ca:P	mg kg ⁻¹		
	Ca	P	Mg	K		Fe	Zn	Mn
Control	36.9	14.2	2.2	6.9	1:0.4	681	243	77
SBM30	24.0	10.9	2.5	8.2	1:0.5	980	227	75
SBM60	19.3	8.7	2.3	11.3	1:0.5	1096	236	76
CSM30	23.9	13.1	4.4	7.4	1:0.5	1647	291	108
CSM60	16.7	13.3	5.6	9.7	1:0.8	1911	237	81

2.2. Fish origin

African catfish, *Clarias gariepinus*, fingerlings were produced by artificial reproduction of captive broodstock at the Research Unit in Wet Land (University of Abomey-Calavi, Benin). Ovaprim® (0.5 ml kg⁻¹ of female) was used to induce the females to spawn in an overall procedure similar to that commonly reported for African catfish (Viveen et al., 1985). At hatching (24-29 h after fertilization and incubation at 28°C), larvae were fed *Artemia* nauplii (EG grade, INVE Aquaculture, Dendermonde, Belgium) for 3 days and then weaned over 7-day post-hatch by substituting *Artemia* with a commercial African catfish diet (CatCo Crumble Excellent, 0.3-0.5 mm, 56% crude protein, Coppens-International, Helmond, The Netherlands). After 18-day post-hatch, larvae (\pm 80 mg) were transferred into a circular concrete tank (500 larvae m⁻³) and were fed CatCo Crumble Ex. 0.5-0.8 mm (56% crude protein) until 1 g. Since this size, they were fed CatCo Grower-12 EF, 2 mm (45% crude protein) until 10.3 g, at day 58 post-hatch, before allotted for the experiment. Throughout the tank-rearing period, fingerlings were sorted each week in each tank, and fast-growing fish (not used in this experiment) were separated from the others to avoid cannibalism and to reduce the size heterogeneity.

2.3. Experimental procedure

The feeding trial was conducted in 15 circular (\emptyset = 1.2 m, height = 0.8 m and water volume = 0.9 m³) cement tanks in an outdoor system for 8 weeks. Water was recirculated through mechanical and biological filters as described in Imorou Toko et al. (2007a).

Fifty fingerlings (initial mean weight, IMW: 10.3 \pm 0.1 g) were stocked in each tank supplied with water at a flow rate of 25 - 30 l min⁻¹. Triplicate tanks were used for each dietary treatment. To prevent fish loss, tanks were covered at 50% with a perforated wooden plank. Water quality parameters, monitored daily, remained within the acceptable range reported for the rearing of African catfish (Akinwale and Faturoti, 2007). Water quality parameters were not significantly different among the

experimental tanks, ranging from 28.3 to 28.8°C, 3.6-4.1 mg l⁻¹, 0.01-0.03 mg l⁻¹ and 0.06-1.1 mg l⁻¹, for temperature, dissolved oxygen, NH₃ and NO₂⁻, respectively.

Fish were hand fed four times daily, at 08.00, 12.00, 16.00 and 20.00 h, 6 days a week over an 8-week period. The daily ration was fixed according to the feeding table proposed by Hogendoorn et al. (1983) for African catfish. Twice monthly, the total number of survivors in each tank was counted and fish biomass determined.

2.4. Growth performance and feed efficiency

Growth was expressed as mean body weight (FMW, g) [(final biomass) (number of survivors)⁻¹] and specific growth rate (SGR, % day⁻¹) [100 (LnFMW – LnIMW) (duration)⁻¹] for each two week interval as well as for the whole experiment.

Feed efficiency (FE) [(body weight gain) (feed supplied)⁻¹] was calculated for each 2-week period as well as for the whole experiment, while protein efficiency ratio (PER) [(body weight gain)(protein intake)⁻¹] and protein productive value (PPV) [(body protein gain) (protein intake)⁻¹] were calculated at the end of the experiment.

Survival (%) [100 (number of survivors per tank) (initial number per tank)⁻¹] and hepatosomatic index (HSI) [(liver weight) (body weight)⁻¹] were also calculated for each tank at the end of the experiment.

2.5. Body composition analysis

Before the onset of the experiment, a sample of 50 fish was taken randomly for analysis of initial whole body composition. At the end of the feeding trial, 6 fish samples were taken from each tank for final whole body and fillet composition analysis, respectively. The liver was removed from 9 fish randomly sampled from each tank, individually weighed and used to calculate the HSI. Sampled fish were killed with an overdose of phenoxyethanol (1.5 mg l⁻¹) for 5 min and were then stored at – 20°C until analysis using the same analytical methods as for the experimental diets. Carcass and fillet composition is expressed as moisture, crude protein, crude fat, ash and mineral (Ca, P, Mg, K, Fe, Zn and Mn) content.

2.6. Statistical analysis

The one-way ANOVA and the Tukey Honest Significant Difference tests (Winer, 1962) were used to compare differences among diets. The mean body weights over time were analyzed by one-way repeat-measure ANOVA. The root mean square error (RMSE) analysis of groups was made to measure the degree to which the values could be estimated accurately. Relationships between body mineral content and dietary SBM, CSM and phytic acid level, respectively, were examined by Pearson product-moment correlation. The level for statistical significance was set at 5%. All statistical analyses were carried out using the statistical software package, Statistica, version 4.1.

3. Results

3.1. Growth and feed utilization

The data on growth, survival and feed utilization are presented in Tables 4 and 5. It is noteworthy that 600 g kg⁻¹ SBM or CSM-based diets significantly lowered growth performance of African catfish in comparison to the control diet. Increasing level of CSM from 300 to 600 g kg⁻¹ in the diet reduced growth rate from 4.32 to 3.85 % day⁻¹, respectively, while inclusion of dietary SBM from 300 to 600 g kg⁻¹ did not impair growth performances. Furthermore, the mean body weight of fish fed 600 g kg⁻¹ SBM or CSM-based diets started to deviate significantly after the second week of rearing from those fed fish meal or 300 g kg⁻¹ SBM or CSM-based diets.

Table 4

Final body weight, Specific growth rate and survival of African catfish-fed experimental diets, $n = 3$ (Initial mean weight = 10.3 g)

Diets	Initial mean weight (g)	Final mean weight (g)	Specific growth rate (% day ⁻¹)	Survival (%)
Control	10.3 ± 0.0	117.6 ± 8.4 ^a	4.35 ± 0.13 ^a	99.3 ± 1.2
SBM30	10.3 ± 0.0	105.0 ± 6.0 ^{ab}	4.14 ± 0.10 ^{ab}	100.0 ± 0.0
SBM60	10.3 ± 0.0	93.4 ± 6.2 ^b	3.93 ± 0.12 ^b	100.0 ± 0.0
CSM30	10.3 ± 0.0	116.0 ± 9.3 ^a	4.32 ± 0.14 ^a	98.7 ± 2.3
CSM60	10.3 ± 0.0	89.2 ± 9.7 ^b	3.85 ± 0.20 ^b	100.0 ± 0.0
RMSE	-	8.069	0.142	1.155
<i>P</i>	-	0.004	0.005	0.552

RMSE, root mean square error; Value is mean ± SD; numbers in the same column with the same superscripts are not significantly different ($P > 0.05$).

Survival, feed utilization parameters such as FE, PER, PPV and HSI were not significantly affected ($P > 0.05$) by dietary level of SBM or CSM.

Table 5

Feed utilization and hepatosomatic index (HSI) of African catfish-fed experimental diets, $n = 3$

Diets	Feed efficiency	Protein efficiency ratio	Protein productive value	HSI
Control	0.99 ± 0.08	2.92 ± 0.22	0.42 ± 0.03	0.76 ± 0.17
SBM30	0.92 ± 0.04	2.72 ± 0.11	0.40 ± 0.01	0.84 ± 0.04
SBM60	0.97 ± 0.12	2.83 ± 0.35	0.41 ± 0.05	0.93 ± 0.06
CSM30	0.99 ± 0.07	2.72 ± 0.19	0.39 ± 0.03	0.93 ± 0.16
CSM60	0.88 ± 0.06	2.59 ± 0.19	0.36 ± 0.02	0.90 ± 0.12
RMSE	0.077	0.223	3.175	0.121
<i>P</i>	0.350	0.491	0.282	0.427

RMSE, root mean square error; Value is mean ± SD.

3.2. Nutrient composition

At the end of the feeding trial, carcass moisture, crude protein or ash content did not show significant differences among fish fed the control, SBM or CSM-based diets (Table 6). However, crude fat content was higher in carcass of fish fed CSM-based diets than those fed SBM or fish meal-based diets. In fillets, crude protein, crude lipid and ash contents were significantly ($P<0.05$) affected by dietary treatment (Table 6). As in carcass, fish fed CSM-based diets accumulate more lipid in fillets than those fed SBM or fish meal-based diets ($P<0.05$).

3.3. Mineral composition

Only Ca and P contents in carcass were significantly affected by dietary treatment (Table 7). Moreover, the correlation between these mineral contents in carcass and the dietary SBM, CSM or phytic acid levels, respectively, were significant (Table 7). Thus, the greater the dietary SBM, CSM or phytic acid level, the less the carcass contained of these minerals. For the other minerals, no significant trend was noted between their level in carcass and the dietary SBM, CSM or phytic acid level. Furthermore, in fillets, only Ca and Zn contents were significantly affected ($P<0.05$) by the dietary level of SBM or CSM (Table 8). Indeed, Ca content decreased ($P<0.05$) with increasing levels of dietary SBM. Fish fed SBM or CSM-based diets displayed reduced Zn content in the fillets compared to those fed the control diet (Table 8). Moreover, significant correlations were observed between Zn content in fillets and dietary SBM, CSM or phytic acid levels.

Table 6

Proximate composition (% fresh matter basis) of African catfish-fed experimental diets, $n = 3$

Parameters	Initial	Control	SBM30	SBM60	CSM30	CSM60	RMSE	<i>P</i>
Carcass								
Moisture	76.3 ± 0.3	70.8 ± 0.6	71.7 ± 1.2	71.6 ± 0.8	70.7 ± 1.2	71.8 ± 0.3	0.897	0.390
Protein	12.4 ± 0.1	14.3 ± 0.6	14.5 ± 0.5	14.1 ± 0.4	14.2 ± 0.8	13.8 ± 0.8	0.646	0.782
Lipid	3.7 ± 0.0	6.4 ± 0.4 ^{ab}	5.7 ± 1.2 ^b	4.8 ± 1.5 ^b	8.9 ± 1.1 ^a	7.2 ± 0.9 ^{ab}	1.096	0.009
Ash	1.9 ± 0.0	2.9 ± 0.1	2.7 ± 0.1	2.5 ± 0.1	3.0 ± 0.4	2.9 ± 0.1	0.189	0.055
Fillet								
Moisture	nm	77.4 ± 0.4	78.3 ± 1.1	76.9 ± 1.3	76.6 ± 0.5	77.1 ± 0.4	0.819	0.194
Protein	nm	16.0 ± 0.2 ^c	15.5 ± 0.1 ^d	16.6 ± 0.0 ^a	16.2 ± 0.1 ^{bc}	16.4 ± 0.0 ^{ab}	0.107	0.001
Lipid	nm	2.1 ± 0.0 ^e	2.6 ± 0.0 ^d	2.7 ± 0.0 ^c	3.9 ± 0.0 ^a	3.6 ± 0.0 ^b	0.027	<0.0001
Ash	nm	0.14 ± 0.0 ^c	0.21 ± 0.0 ^b	0.14 ± 0.0 ^c	0.36 ± 0.0 ^a	0.33 ± 0.0 ^a	0.012	<0.0001

RMSE, root mean square error; Value is mean ± SD; nm, not measured;

Numbers in the same row with the same superscripts are not significantly different ($P>0.05$)

Table 7

Mineral composition (dry matter basis) in the carcass of African catfish-fed experimental diets, $n = 3$

Diets	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹		
	Ca	P	Mg	K	Fe	Zn	Mn
Control	20.9 ± 3.3 ^a	18.2 ± 0.4 ^a	6.6 ± 2.5	3.7 ± 0.6	616.6 ± 84.2	119.0 ± 37.5	8.1 ± 1.1
SBM30	17.1 ± 4.7 ^{ab}	14.7 ± 0.5 ^c	8.0 ± 3.9	2.6 ± 0.6	669.4 ± 91.3	101.0 ± 8.8	6.7 ± 0.6
SBM60	8.4 ± 2.2 ^b	13.8 ± 0.1 ^c	8.2 ± 4.1	2.9 ± 0.6	661.6 ± 85.7	91.7 ± 28.1	6.6 ± 0.1
CSM30	11.1 ± 2.6 ^{ab}	16.6 ± 0.1 ^b	8.7 ± 4.0	2.7 ± 0.7	641.1 ± 78.8	80.7 ± 4.2	6.8 ± 0.6
CSM60	11.4 ± 0.1 ^{ab}	13.8 ± 0.0 ^c	9.0 ± 3.9	2.9 ± 0.3	623.1 ± 46.8	73.9 ± 5.8	6.9 ± 0.6
r^2_1	0,779*	0,889*	0,068	0.337	0.078	0.245	0.512
r^2_2	0.640	0.967*	0.137	0.559	0.003	0.532	0.377
r^2_3	0.557*	0.902*	0.043	0.221	0.027	0.201	0.353
RMSE	2.968	0.293	3.705	0.301	78.957	21.579	0.686
P	0.039	<0.0001	0.964	0.074	0.944	0.367	0.280

RMSE, root mean square error; Value is mean ± SD;

Numbers in the same column with the same letter as superscripts are not significantly different ($P > 0.05$);

r^2_1 and r^2_2 are coefficients of determination of regression between mineral content in carcass and dietary SBM and CSM level, respectively;

r^2_3 is coefficient of determination of regression between mineral content in carcass and dietary phytic acid level;

Correlations marked with (*) are significant at 95%.

Table 8

Mineral composition (dry matter basis) in the fillet of African catfish-fed experimental diets, $n = 3$

Diets	g kg ⁻¹				mg kg ⁻¹		
	Ca	P	Mg	K	Fe	Zn	Mn
Control	0.7 ± 0.1 ^{ab}	3.5 ± 0.2	1.0 ± 0.3	27.5 ± 4.1	774.6 ± 81.8	28.3 ± 0.0 ^a	6.2 ± 0.4
SBM30	0.8 ± 0.1 ^a	4.6 ± 0.1	1.2 ± 0.1	27.1 ± 2.6	804.4 ± 42.4	25.6 ± 0.2 ^c	6.3 ± 2.2
SBM60	0.5 ± 0.0 ^b	5.4 ± 1.3	1.1 ± 0.2	27.9 ± 4.2	798.7 ± 59.2	16.2 ± 0.3 ^e	5.2 ± 2.0
CSM30	0.4 ± 0.0 ^b	3.4 ± 0.1	0.9 ± 0.2	21.7 ± 0.0	848.6 ± 24.7	26.8 ± 0.3 ^b	5.9 ± 1.0
CSM60	0.6 ± 0.0 ^{ab}	3.1 ± 0.0	1.0 ± 0.1	26.7 ± 2.4	792.2 ± 56.9	18.9 ± 0.2 ^d	5.3 ± 2.4
r^2_1	0.274	0.676*	0.086	0.003	0.045	0.906*	0.100
r^2_2	0.149	0.614	0.002	0.009	0.019	0.867*	0.348
r^2_3	0.083	0.220	0.037	0.041	0.0002	0.911*	0.082
RMSE	0.073	0.599	0.211	3.067	56.272	0.249	1.772
P	0.016	0.050	0.649	0.355	0.754	<0.0001	0.944

RMSE, root mean square error; Value is mean ± SD;

Numbers in the same column with the same letter as superscripts are not significantly different ($P > 0.05$);

r^2_1 and r^2_2 are coefficients of determination of regression between mineral content in fillet and dietary SBM and CSM level, respectively;

r^2_3 is coefficient of determination of regression between mineral content in fillet and dietary phytic acid level;

Correlations marked with (*) are significant at 95%.

4. Discussion

Previous studies have indicated that SBM or CSM can partially or sometimes totally replace fish meal in catfish diets without impairing growth performances (Balogun and Ologhobo, 1989; Falaye and Ahwieh, 1998; Phonekhampheng, 1996; Hoffman et al., 1997; Fagbenro and Davies, 2001; Van Weerd et al., 1999). These results were generally attributed to the removal of most antinutritional factors by various treatments (heating, soaking, enzymes or amino acids supplementation, etc.). In the present study, growth performances were affected by the level of SBM or CSM in the diets while survival, feed utilization and hepatosomatic index were not altered. Overall, growth parameters in this study were good compared with other experiments with African catfish in analogous conditions (dietary protein source and level, experimental facilities, water temperature, etc.). For example in an experiments conducted by Balogun and Ologhobo (1989) or Hoffman et al. (1997), where African catfish fingerlings were fed fish meal and SBM-based diets, very low SGRs (0.02 to 0.2 or 1.9 to 3.4 % day⁻¹, respectively) were obtained. Under the same conditions, Fagbenro and Davies (2001) found 2.0 to 2.2 % day⁻¹ for African catfish, while Ali and Jauncey (2004) reported 2.8 to 3.5 % day⁻¹. Furthermore, the fact that the feed efficiency did not differ regardless of the diet used in this study indicates that the African catfish utilized the SBM or CSM as well as fish meal and it could be a reason why African catfish grew better in our experiment than in others. This may be due to several reasons: a) the use of properly balanced ingredients in our experimental diets which improves their nutritional value or b) the use of heat treated SBM or CSM which has been demonstrated improve the growth performance and feed efficiency of various catfish species (Wilson and Poe, 1985; Balogun and Ologhobo, 1989; Falaye and Ahwieh, 1998; Fagbenro and Davies, 2001; Van Weerd et al., 1999; Peres et al., 2003; Imorou Toko et al., 2007a). Moreover, the PPVs were not different among fish fed experimental diets indicating that protein value, i.e. amino acid balance and digestibility, of SBM and CSM-based diets were similar to a fish meal based diet. Similar findings have been reported by Fagbenro and Davies (2001) for African catfish fed fish meal-based diets and from 200 to 400 g kg⁻¹ SBM-based diets or by Webster et al. (1997) for channel catfish fed diets containing various percentages of canola meal compared to fish meal based diet. However, the growth retardation recorded in fish fed diets containing 600 g kg⁻¹ SBM or CSM may have been caused by some amino acid deficiencies. Indeed, calculated levels of total methionine in these diets indicated that the requirement of growing African catfish (24 g methionine kg⁻¹ protein; Unprasert, 1994) was not met (Table 2). Methionine is the first limiting amino acid in several plant proteins (Hardy and Barrows, 2002). According to Fagbenro and Davies (2001), replacement of more than 50% fish meal with soybean flour in African catfish diets should be only possible if the diet is supplemented with methionine. In channel catfish and rainbow trout high soybean-based diets supplemented with methionine produced better growth than did unsupplemented diets (Murai et al., 1982; Davies and Morris, 1997).

Several studies on African catfish (Machiels and Henken, 1985; Henken et al., 1986; Degani et al., 1989; Uys, 1989; Fagbenro, 1996; Imorou Toko et al., 2007b) have shown that the body composition in nutrients was related to their dietary amount, growth rate or the difference in suitability of feed ingredients used. In the present

study, dietary nutrients (protein and lipid) were found to meet the African catfish requirement. So, it can not be concluded whether body composition is directly influenced by dietary treatment or fish size at harvest. Therefore, the variations in body composition observed in this study could be mainly due to the differences in the suitability of feed ingredients. However, the high level of fat in fish fed control or 300 g kg⁻¹ CSM-based diet could possibly be due to their size at the harvest, since it has been reported that, in fish, a weight increase was also accompanied by body fatness increases as well (*Cyprinus carpio*, Adelman, 1977, 1978; channel catfish, Robinson et al., 2003).

The reductions of body Ca and P content with increasing level of dietary SBM or CSM were similarly reported by Storebakken et al. (1998, 2000) for Atlantic salmon Vielma et al. (2000) rainbow trout, Mbahinzireki et al. (2001) Nile tilapia or Imorou Toko et al. (2007a) for vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*), fed plant protein sources. Indeed, Ca and P are the dominant inorganic components in the whole fish and about 90% of Ca and 80% of P are found in the bones (Hertrampf and Piedad-Pascual, 2000). While the absorption of Ca from water is high and makes fish less dependent on dietary Ca (Hepher, 1988), the P-uptake from water is low (Phillips et al., 1956) since the P content of the water is also low (Boyd, 1990). Moreover, Ca absorption from water is related to the available P to the fish (Hepher, 1988). However, in tilapia and salmonids, it is well documented that whole body Ca and P concentrations are responsive to increased levels of their dietary content (Skonberg et al., 1997; Mbahinzireki et al., 2001). For example in Nile tilapia, Mbahinzireki et al. (2001) found that Ca, P, Mg and Fe concentrations in fish body fell progressively as the level of CSM increased in the diet. These authors related their results in part to the low absorption of these minerals from the diets. This might also be attributed to an adverse effect of phytic acid which in plant feedstuff forms an insoluble chelate with minerals, such as P for which dietary imbalance lowered Ca absorption (Hepher, 1988; Porn-Engam et al., 1993). Hence, the availability of P in most plant products is low and that of SBM for channel catfish is between 29 and 54% (Wilson et al., 1982). In this study, the amount of phytic acid in the experimental diets (ranging from 0.3 to 2.7 g kg⁻¹) resulted from the proportional increase of SBM or CSM (from 0 to 600 g kg⁻¹). The very good correlation between carcass Ca and P content and the dietary phytic acid amount indicates that this antinutrient is probably the main factor explaining the mineral depletion in fish fed high SBM or CSM-based diets. In the same conditions, P retention in vundu catfish was significantly lower in carcass of fish fed a 600 g kg⁻¹ SBM-based diet than those fed fish meal, CSM or 300 g kg⁻¹ SBM-based diets (Imorou Toko et al., 2007a). This may mainly be due to the presence of phytic acid, its level being higher in 600 g kg⁻¹ SBM-based diet than in the other diets. According to this study, P content in carcass of vundu was not affected by up to 2.2 g kg⁻¹ phytic acid in the diet. Therefore, the responses observed with low phytic acid level (from 1.1 g kg⁻¹) with African catfish in the present study indicate it may be more sensitivity to dietary phytic acid than vundu catfish.

Furthermore, the influence of dietary phytic acid on body Zn content in many fish species has been reported (Gatlin and Wilson, 1984; Satoh et al., 1989, 1992; Imorou Toko et al., 2007a). It was clearly demonstrated that the effect of dietary Zn deficiency was more pronounced at the high phytic acid concentration in the diet. According to

Imorou Toko et al. (2007a), the increase of phytic acid from 0.3 to 2.7 g kg⁻¹ in vundu catfish diet lowered Zn content in the fillet from 26.0 to 18.5 mg kg⁻¹, respectively. Moreover, Satoh et al. (1989) found that the elevation of phytic acid from 11 to 22 g kg⁻¹ in channel catfish diets containing 50 mg Zn kg⁻¹ lowered weight gain and feed efficiency, apart from decreasing Zn content in the vertebrae. Therefore, Gatlin and Wilson (1984) suggested that channel catfish required about 200 mg Zn kg⁻¹ when fed diets containing approximately 11 g kg⁻¹ phytic acid.

For the other elements (Mg, K, Fe and Mn), body composition did not show any marked change with the increasing level of SBM or CSM in the diet. However, in many fish species (vundu catfish, channel catfish, common carp, tilapia or salmonids), dietary phytic acid content is expected to bind these minerals to form insoluble phytates in the intestinal lumen, thereby inhibiting their absorption (Gatlin and Wilson, 1984; Satoh et al., 1989, 1992; Hossain and Jauncey, 1991; Porn-Ngam et al. 1993; Imorou Toko et al., 2007a). This may be due to species-specific responses or low-dietary phytic acid level in the tested diets (0.3 to 2.7 g kg⁻¹) compared to the response observed in other species.

Furthermore, no pathology of mineral deficiency was observed during this study, suggesting that the mineral deficiencies were not too high. Indeed, it is well documented that in fish, mineral deficiencies can cause biochemical, structural and functional pathologies which depend on several factors, including the duration and degree of mineral deprivation. Hardy et al. (1993) observed that juvenile rainbow trout fed a P-deficient diet displayed clinical signs of anorexia, dark colouration, lethargy and reduced growth after 5 weeks, but in a peer group fed on a diet with 10% of P requirement, clinical deficiency was not manifested until after the body-store of P was reduced below the threshold level. Otherwise, Eya and Lovell (1998) reported that the dietary P levels influence the resistance of juvenile channel catfish to *Edwardsiella ictaluri* challenge, and that the requirement for maximizing the growth is sufficient for maximizing the resistance to the pathogen. In the same way, the signs of zinc deficiency are eye lens cataract and erosion of fins and skin (Watanabe et al., 1997). According to Gatlin and Wilson (1983), when catfish diets were low in zinc, appetite was reduced, resulting in low growth, low bone zinc and calcium levels and serum zinc concentration.

Conclusions

The results of this study showed that as far as growth rate is concerned, SBM and CSM can replace fish meal as a source of protein in compound feeds for African catfish up to 300 g kg⁻¹. However, with regard to body mineral composition, the inclusion level of these ingredients should be less than 300 g kg⁻¹. Indeed, the dietary phytic acid (ranging from 0.3 to 2.7 g kg⁻¹) which resulted from the proportional increase of SBM or CSM in the diet (from 0 to 600 g kg⁻¹) affected Ca, P and Zn content in carcass or fillets of African catfish. From 1.1 g kg⁻¹ dietary phytic acid, body P and Zn content decreased significantly and this has a special relevance in that these minerals are critical for growth, regulation of acid-base equilibrium, carbohydrate, lipid, and amino acid metabolism and as cofactors for biologically important compounds such as hormones and enzymes.

Acknowledgements

This study was funded by the CUD-CIUF (University Cooperation towards Development - Interuniversity Council of French Speaking Universities of Belgium), the University of Namur and the University of Abomey-Calavi (UAC). We are grateful to Lauvitch Dah Djèkpanon, Thierry Awlimessou, Farouk Abdoulaye, Pierre Cambier and Gerard Trausch for their scientific and technical assistance. We are also grateful to the reviewers for their suggestions improving a first version of this manuscript.

References

- Adelman, I.R., 1977. Effects of bovine growth hormone on growth of carp (*Cyprinus carpio*) and the influences of temperature and photoperiod. J. Fish. Res. Board Can. 34, 509-515.
- Adelman, I.R., 1978. Influence of temperature on growth promotion and body composition of carp (*Cyprinus carpio*) due to bovine growth hormone. Trans. Am. Fish. Soc. 107, 747-750.
- Akinwale, A.O., Faturoti, E.O., 2007. Biological performance of African catfish (*Clarias gariepinus*) cultured in recirculating system in Ibadan. Aquacult. Eng. 36, 18-23.
- Ali, M.Z., Jauncey, K., 2004. Evaluation of mixed feeding schedules with respect to compensatory growth and body composition in African catfish *Clarias gariepinus*. Aquacult. Nutr. 10, 39-45.
- Balogun, A.M., Ologhobo, A.D., 1989. Growth performance and nutrient utilization of fingerling *Clarias gariepinus* (Burchell) fed raw and cooked soybean diets. Aquaculture 76, 119-126.
- Bligh, E.G., Dyer, W.J., 1959. A rapid method for total lipid extraction and purification. Can. J. Biochem. Physiol. 37, 911-917.
- Bollini, R., Carnovale, E., Campion, B., 1999. Removal of antinutritional factors from bean (*Phaseolus vulgaris* L.) seeds. Biotechnol. Agron. Soc. Environ. 3, 217-219.
- Boyd, C.E., 1990. Water quality in ponds for aquaculture. Alabama Agriculture Experiment Station, Auburn University, 482 pp.
- Davies, S.J., Morris, P.C., 1997. Influence of multiple amino acid supplementation on the performance of rainbow trout, *Onchorhynchus mykiss* (Walbaum), fed soya based diets. Aquacult. Res. 28, 65-74.
- Degani, G., Ben-Zvi, Y., Levanon, D., 1989. The effect of different protein levels and temperatures on growth and feed utilization, growth and body composition of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Aquaculture 76, 293-301.
- Elmaki, H.B., AbdelRahaman, S.M., Idris, W.H., Hassan, A.B., Babiker, E.E., El Tinay, A.H., 2007. Content of antinutritional factors and HCL-extractability of minerals from white bean (*Phaseolus vulgaris*) cultivars: Influence of soaking and/or cooking. Food Chem. 100, 362-368.
- El-Saidy, D.M.S.D., Gaber, M.M., 2004. Use of cottonseed meal supplemented with iron for detoxification of gossypol as a total replacement of fish meal in Nile tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.) diets. Aquacult. Res. 35, 859-865.

- Eya, J.C., Lovell, R.T., 1998. Effects of dietary phosphorus on resistance of channel catfish to *Edwardsiella ictaluri* challenge. J. Aquat. Anim. Health 10, 28-34.
- Fagbenro, O.A., 1996. Apparent digestibility of crude protein and gross energy in some plant-and animal-based feedstuffs by *Clarias isheriensis* (Siluriformes: Clariidae) (Sydenham 1980). J. Appl. Ichthyol. 12, 67-68.
- Fagbenro, O.A., Davies, S.J., 2001. Use of soybean flour (dehulled, solvent-extracted soybean) as a fish meal substitute in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822): growth, feed utilization and digestibility. J. Appl. Ichthyol. 17, 64-69.
- Falaye, A.E., Ahwieh, V.E., 1998. The nutritive value of processed soybean hull meals in diets for the African catfish *Clarias gariepinus*. African Fishes and Fisheries Diversity and Utilization, FISA/PARADI, Grahamstown (South Africa), 206p.
- Francis, G., Makkar, H.P.S., Becker, K., 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. Aquaculture 199, 197-227.
- Gatlin, III, D.M., Wilson, R.P., 1983. Dietary zinc requirement of fingerling channel catfish. J. Nutr. 113, 630-635.
- Gatlin III, D.M., Wilson, R.P., 1984. Zinc supplementation of practical channel catfish diets. Aquaculture 41, 31-36.
- Hardy, R.W., Fairgrieve, W.T., Scott, T.M., 1993. Periodic feeding of low-phosphorus diet and phosphorus retention in rainbow trout (*Oncorhynchus mykss*). In: Fish Nutrition in Practice (ed. By S.J. Kaushik and P. Luquet), pp. 403-412. INRA Colloquium No. 61, Paris, France.
- Hardy, R.W., Barrows, F.T., 2002. Diet formulation and manufacture. In: Halver, J.E. Hardy, R.W. (Eds.), Fish Nutrition, 3rd edn. Academic Press, New York, pp. 505-600.
- Hartman, G.H., 1979. Removal of phytate from soy protein. J. Am. Oil Chem. Soc. 56, 731-735.
- Henken, A.M., Machiels, M.A.M., Dekker, W., Hogendoorn, H., 1986. The effect of dietary protein to energy content on the growth rate and feed utilization of the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). Aquaculture 58, 55-74.
- Hepher, B., 1988. Nutrition of Pond Fishes. Cambridge Univ. Press, New York, USA, 388 p.
- Herkelman, K.L., Cromwell, G.L., Stahly, T.S., 1991. Effects of heating time and sodium metabisulfite on the nutritional value of full-fat soybeans for chicks. J. Anim. Sci. 69, 4477-4486.
- Hertrampf, J.W., Piedad-Pascual, F., 2000. Handbook on Ingredients for Aquaculture Feeds. Kluwer Academic Publishers, The Netherland, 573 p.
- Hoffman, L.C., Prinsloo, J.F., Rukan, G., 1997. Partial replacement of fish meal with either soybean meal, brewers yeast or tomato meal in the diets of African sharptooth catfish *Clarias gariepinus*. Water SA 23, 181-186.
- Hogendoorn, H., Jansen, J.A.J., Koops, W.J., Machiels, M.A.M., Van Ewijk, P.H., Van Hees, J.P., 1983. Growth and production of the African catfish, *Clarias lazera* (C&V). II. Effects of body weight, temperature and feeding level in intensive tank culture. Aquaculture 21, 253-263.

- Hossain, M.A., Jauncey, K., 1991. The effects of varying dietary phytic acid, calcium and magnesium levels on the nutrition of common carp, *Cyprinus carpio*. In: Kaushik, S.J. Luquet, P. (Eds.), Fish Nutrition in Practice. INRA, Paris, pp. 705-715.
- Imorou Toko, I., Fiogbe, E.D., Kestemont, P., 2007a. Growth, feed efficiency and body mineral composition of juvenile vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*, Valenciennes 1840) in relation to various dietary levels of soybean or cottonseed meals. *Aquacult. Nutr.* 13, 1-11.
- Imorou Toko, I., Fiogbe, E.D., Koukpode, B., Kestemont, P., 2007b. Rearing of African catfish (*Clarias gariepinus*) and vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*) in traditional fish ponds (whedos): effect of stocking density on growth, production and body composition. *Aquaculture* 262, 65-72.
- Lall, S.P., 1991. Digestibility, metabolism and excretion of dietary phosphorus in fish. In: Cowey, C.B., Cho, C.Y., (Eds.), Nutritional Strategies and Aquaculture Waste. Proc. 1st Int. symp. Nutritional Strategies in Management of Aquaculture Waste; Univ. Guelph, Ontario, Canada, pp. 21-36.
- Liener, I.E., 1981. Factors affecting the nutritional quality of the soya products. *J. Am. Oil. Chem. Soc.* 58, 406-415.
- Machiels, M.A.M., Henken, A.M., 1985. Growth rate, feed utilization and energy metabolism of the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), as affected by dietary protein and energy metabolism. *Aquaculture* 44, 271-284.
- Mbahinzireki, G.B., Dabrowski, K., Lee, K.J., El-Saidy, D., Wisner, E.R., 2001. Growth, feed utilization and body composition of tilapia (*Oreochromis* sp.) fed with cottonseed meal-based diets in a recirculating system. *Aquacult. Nutr.* 7, 189-200.
- Murai, T., Ogata, R., Nose, T., 1982. Methionine coated with various materials supplemented to soybean diet for fingerling carp *Cyprinus carpio* and channel catfish *Ictalurus punctatus*. *Bull. Jpn. Sci. Soc. Fish.* 48, 85-88.
- New, N.B., 1987. Feed and Feeding of Fish and Shrimp: A Manuel on the Preparation Presentation of Compound Feeds for Shrimp and Fish in Aquaculture. FAO, ADCP, Roma, p. 275.
- Papatryphon, E., Howell, R.A., Soares, Jr., 1999. Growth and mineral absorption by stripped bass *Morone saxatilis* fed a plant feedstuff based diet supplemented with phytase. *J. World Aquacult. Soc.* 30, 161-173.
- Peres, H., Lim, C., Klesius, P.H., 2003. Nutritional value of heat-treated soybean meal for channel catfish (*Ictalurus punctatus*). *Aquaculture* 225, 67-82.
- Phillips, A.M., Lovelace, F.E., Podiliak, H.A., Brockway, D.R., Baizer, G.C., 1956. Absorption of minerals from water and food by brook trout. *Fish. Res. Bull. N.Y.*, 19, 6-7.
- Phonekhampheng, O., 1996. Use of glandless cottonseed as an ingredient in hybrid catfish (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*) feed. PhD. Thesis, Kasetsart University, Bangkok, 100 p.
- Porn-Ngam, N., Satoh, S., Takeuchi, T., Watanabe, T., 1993. Effect of the ratio of phosphorus to calcium on zinc availability to rainbow trout in high phosphorus diet. *Nippon Suisan Gakkaishi* 59, 2065-2070.

- Reddy, N., 2002. Occurrence, distribution, content, and dietary intake of phytate. In: Reddy, N., Sathe, S.K. (Eds.) Food Phytates CRC Press, New York, pp. 25-52.
- Robinson, E.H., Li, M.H., Manning, B.B., 2003. How a catfish reaches commercial weight is key to composition. *Catfish J.* 18 (3), 12.
- Satoh, S., Poe, W.E., Wilson, R.P., 1989. Effect of supplemental phytate and/or tricalcium phosphate on weight gain, feed efficiency and zinc content in vertebrae of channel catfish. *Aquaculture* 80, 155-161.
- Satoh, S., Porn-Ngam, N., Takeuchi, T., Watanabe, T., 1992. Effect of extruded soybean meal on availability of trace elements to rainbow trout. Abstracts, Annual meeting of Japanese Society for Scientific Fisheries, p. 189.
- Skonberg, D.I., Yogev, L., Hardy, R.W., Dong, F.M., 1997. Metabolic response to dietary phosphorus intake in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture* 157, 11-24.
- Storebakken, T., Shearer, K.D., Roem, A.J., 1998. Availability of protein, phosphorus and other elements in fish, soy-protein concentrate and phytase-treated soy-protein-concentrate-based diets to Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture* 161, 365-379.
- Storebakken, T., Shearer, K.D., Baeverfjord, G., Nielsen, B.G., Asgard, T., Scott, T., De Laporte, A., 2000. Digestibility of macronutrients, energy and amino acids absorption of elements and absence of intestinal enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with wheat gluten. *Aquaculture* 184, 115-132.
- Unprasert, N.G., 1994. An evaluation of the use of "ideal" protein concept to estimate essential amino acid requirements of the *Clarias* hybrid (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*). PhD Dissertation, Mississippi State University, Mississippi State, MS.
- Uys, W., 1989. Aspects of the nutritional physiology and dietary requirement of juvenile and adult sharptooth catfish, *Clarias gariepinus* (pisces: Clariidae). PhD Thesis, Rhodes University, South Africa.
- Van Weerd, J.H., Khalaf, Kh.A., Aartsenn, F.J., Tijssen, P.A.T., 1999. Balance trials with African catfish *Clarias gariepinus* fed phytase-treated soybean meal-base diets. *Aquacult. Nutr.* 5, 135-142.
- Vielma, J., Mäkinen, T., Ekholm, P., Koskela, J., 2000. Influence of dietary soy and phytase levels on performance and body composition of large rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and algal availability of phosphorus load. *Aquaculture* 183, 349-362.
- Viveen, W., Richter, C., Van Oordt P., Janssen, J., Huisman, E., 1985. Practical manual for the culture of the African catfish (*Clarias gariepinus*). Dir. Gen. Internat. Technical Coop., The Netherlands, 94 p.
- Watanabe, T., Kiron, V., Satoh, S., 1997. Trace minerals in fish nutrition. *Aquaculture* 151, 185-207.
- Webster, C.D., Tidwell, J.H., Tiu, L.S., Yancey, D.H., 1995. Use of soybean meal as partial or total substitute of fish meal in diets for blue catfish, *Ictalurus furcatus*. *Aquat. Living Resour.* 8, 379-384.
- Webster, C.D., Tiu, L.G., Tidwell, J.H., Grizzle, J.M., 1997. Growth and body composition of channel catfish (*Ictalurus punctatus*) fed diets containing various percentages of canola meal. *Aquaculture* 150, 103-112.

- Wilson, R.P., Poe, W.E., 1985. Effect of feeding soybean meal with varying trypsin inhibitor activities on growth of fingerling channel catfish. *Aquaculture* 46, 19-25.
- Wilson, R.P., Robinson, E.H., Gatlin III, D.M., Poe, W.E., 1982. Dietary phosphorus requirement of channel catfish. *J. Nutr.* 112, 1197-1202.
- Winer, B.J., 1962. *Statistical Principles in Experimental Design* (2nd ed.). McGraw-Hill, New York.

3.5. Growth, feed efficiency and body mineral composition of juvenile vundu catfish (*Heterobranchus longifilis*, Valenciennes 1840) in relation to various dietary levels of soybean or cottonseed meals

Ibrahim IMOROU TOKO, Emile D. FIOGBE, Patrick KESTEMONT

Aquaculture Nutrition **13** (2007), 1 – 11

Abstract

This study aimed to assess the effect of soybean meal (SBM) and cottonseed meal (CSM), as partial replacement of dietary fish meal on growth, feed efficiency and body mineral composition of juvenile vundu (*Heterobranchus longifilis*). Five iso-nitrogenous (390 g kg⁻¹ crude protein) and iso-caloric (18 kJ g⁻¹, gross energy) diets (Control, SBM30, SBM60, CSM30 and CSM60) were fed to triplicate groups of 40 fish (initial mean weight: 12 g) in each tank (0.9 m³).

Over a 7-week feeding period, significant differences ($P < 0.05$) were observed on growth, feed efficiency and body mineral composition between fish fed the different dietary treatments. Fish fed CSM based diets and 600 g kg⁻¹ SBM based diet had reduced growth and reduced feed and protein efficiencies as compared with those fed diet containing 300 g kg⁻¹ SBM or the Control diet. Data from body mineral composition in response to dietary treatment could be divided into two groups. The first group refers to elements such as Mg and Fe for which carcass and fillet composition did not show significant differences with dietary level of SBM or CSM. Ca, P, K, Zn and Mn composed the second group of minerals whose concentrations in fish body were significantly reduced in fish fed SBM60.

In conclusion, the results of this study indicate that although solvent extracted SBM and CSM are often reported safe for fish, they can only partially replace fish meal as a source of protein in compound feed for vundu at a limited amount between 300-600 g kg⁻¹ for SBM and less than 300 g kg⁻¹ for CSM.

Key words: Vundu catfish; Soybean meal; Cottonseed meal; Growth; Feed efficiency; mineral composition

4. DISCUSSION GENERALE, CONCLUSIONS ET PERSPECTIVES

L'objectif global de cette recherche était d'étudier les perspectives d'élevage des poissons-chats *Clarias gariepinus* et *Heterobranchus longifilis* dans les trous traditionnels à poissons (whedos) du delta de l'Ouémé. Dans les paragraphes suivants, nous ferons la synthèse des résultats obtenus tout en les recadrant en fonction des objectifs spécifiques préalablement fixés. Il s'agit notamment de l'étude des whedos et les possibilités d'y élever des poissons-chats d'une part, et d'autre part, notre contribution à la maîtrise des aspects zootechniques et nutritionnels de la production d'alevins de ces poissons au Bénin.

4.1. Les whedos du delta de l'Ouémé : importance socio-économiques et perspectives de développement d'une filière de production piscicole

Les trous traditionnels à poissons (whedos, et ahlos) constituent les principaux milieux d'élevage piscicole au Bénin loin devant les étangs classiques, les enclos, les bassins en béton et les cages flottantes (Dah Lokonon, 1977 ; PAZH, 2000). La production naturelle annuelle des whedos du delta de l'Ouémé qui était d'environ 1,57 t ha⁻¹ (Welcomme, 1971) pourrait atteindre 36 t ha⁻¹ lorsqu'on y met en charge des alevins de *C. gariepinus* (poids moyen initial de 35 g) à la densité de 24 poissons par m⁻³ avec un apport d'aliment exogène. Bien que l'élevage dans ces structures soit de nos jours extensif, il pourrait néanmoins produire des rendements annuels nets variant entre 182.000 et 572.720 Fcfa ha⁻¹ (Chapitre 2.2). L'élaboration du compte d'exploitation des ménages de pêcheurs propriétaires de whedos dans cinq villages situés de l'amont vers l'aval du delta de l'Ouémé nous montre qu'il pourrait rapporter de 120.000 à plus de 240.000 Fcfa par ménage d'au moins un pêcheur, ce qui représente en moyenne 27 % des revenus bruts annuels de ces ménages. Nonfon (1988) avait déjà signalé l'importance socio-économique de la pêche dans les whedos, une activité qui se pratique une fois l'an. Toute innovation permettant d'améliorer leur rendement recevra donc une approbation certaine. A cet effet, la mise en charge artificielle d'espèces bien adaptées à ces milieux et à croissance rapide constitue de nos jours une alternative très intéressante. Par conséquent, toute perspective de promotion de l'élevage dans les whedos supposent la maîtrise au préalable de leurs caractéristiques physico-chimiques et biologiques, du choix des espèces à y élever et enfin des exigences de ces élevages, notamment en termes de disponibilité en juvéniles pour la mise en charge et en aliment de formulation adéquate.

Dans le chapitre 2.3 nous avons évalué la qualité physico-chimique de l'eau des whedos, leur abondance en phytoplancton et zooplancton et leur peuplement biologique (poissons et végétaux aquatiques). Ces caractéristiques étaient comparées à celles du fleuve Ouémé qui les inonde. De mars à juin, les paramètres tels que le pH, la conductivité, la teneur en nitrite et la densité en cladocères n'ont pas significativement varié entre les whedos préalablement exploités et le lit du fleuve. Cependant, la teneur en oxygène dissous était beaucoup plus faible dans les whedos (2,3 mg L⁻¹) dû principalement à la faible transparence de l'eau (19,0 ± 1,9 cm) et par conséquent la faible biomasse algale (0,27 µgC L⁻¹). De façon générale, les caractéristiques physico-chimiques et principalement les teneurs en oxygène dissous dans les whedos jouent un

rôle essentiel dans le recrutement des espèces rencontrées. Toutes ces espèces ont des adaptations à la vie en milieux hypoxiques ou disposent d'organes accessoires de respiration aérienne comme les Clariidae, les Anabantidae, les Channidae et les Protopteridae (Welcomme, 1975).

Pour rappel, la période de crue du fleuve Ouémé, qui correspond à l'inondation de la vaste plaine du delta, s'étend généralement de juillet à mi-novembre. La décrue s'amorce dès la fin du mois de novembre et l'eau se retire complètement des plaines dès la fin du mois de décembre. Selon les enquêtes menées auprès des propriétaires de whedos dans le delta de l'Ouémé, il ressort que, dans 90 % des cas, la période d'exploitation des whedos s'étend chaque année de fin janvier à fin mars. La valorisation des whedos déjà exploités, tout au moins durant la période allant de mars à juin, par l'empoissonnement artificiel d'espèces piscicoles bien adaptées pourrait permettre d'accroître leur rendement naturel. De plus, la contrainte de temps qu'impose l'élevage dans ces milieux oblige donc de choisir des espèces piscicoles à croissance rapide et supportant des densités élevées de stockage. Dans ce contexte, et au regard de la demande croissante en ces espèces tant sur le plan national que sous-régional, (Nigeria, Togo, Burkina, Niger, etc.), les poissons-chats *C. gariepinus* et *H. longifilis* semblent les mieux indiqués à ce jour. Ils sont sans doute les espèces les plus adaptées à la pisciculture en whedos en raison de leur croissance rapide et de leur parfaite adaptation à la vie en biotope difficile et généralement turbide. Cependant, une meilleure connaissance de l'alimentation et de la densité optimale de mise en charge de ces espèces dans les whedos est indispensable à la promotion et au développement de leur élevage dans ces milieux.

La nécessité d'une alimentation artificielle au cours de l'élevage de *C. gariepinus* dans les whedos avait déjà été vérifiée (Imorou Toko *et al.*, sous presse). Il ressort de cette étude préalable que malgré les faibles taux d'oxygène dissous ($< 3,1 \text{ mg L}^{-1}$) disponible dans le milieu, la survie des alevins en whedos était assez bonne ($> 72 \%$) aussi bien chez les alevins ayant reçu un aliment exogène que chez ceux se nourrissant des ressources trophiques naturelles des whedos ($P > 0,05$). Les performances de croissance de *C. gariepinus* rapportées par divers auteurs sont présentées dans le Tableau 1. On y remarque que dans les mêmes conditions d'élevage, la croissance de *C. gariepinus* est similaire en whedos comme en étang. Par ailleurs, la production obtenue avec les alevins n'ayant pas reçu d'aliment artificiel ($2,74 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$) indique un bon état trophique des whedos, supérieur à la productivité naturelle établie à $1,57 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$ par Welcomme (1971). Cette production, qui a été significativement améliorée à $3,89 \text{ t ha}^{-1} \text{ an}^{-1}$, grâce à la distribution d'un aliment artificiel au cours de l'élevage, reste proche de celle rapportée par Bok & Jongbloed (1984) dans les mêmes conditions d'élevage extensive de *C. gariepinus* (Tableau 2). La production obtenue en whedos avec apport d'aliment artificiel demeure donc assez importante et pourrait être encore améliorée, notamment par l'augmentation des rations distribuées d'une part, et des densités de mise en charge d'autre part. En effet, cette étude étant la première du genre en whedo, le taux de rationnement journalier avait été fixé à 3 % de la biomasse initiale et cette ration n'avait été réajustée qu'après 30 jours d'élevage. Vu la taille initiale des alevins (2 g) et le fort taux de croissance de cette espèce, on pourrait

supposer que les rations journalières distribuées couvraient à peine les besoins d'entretien de ces poissons et n'étaient pas suffisantes pour soutenir une croissance optimale. Néanmoins, l'apport de cet aliment exogène dans les whedos a permis d'améliorer significativement la production chez les poissons nourris.

Par ailleurs, les poids moyens finaux atteints en whedos (66 à 77 g) au départ d'alevins de 2 g sont assez faibles par rapport à la taille moyenne de consommation de *C. gariepinus* qui est d'environ 250 g au Bénin. Par conséquent, dans le but de vendre les poissons produits en whedos dans les autres marchés du pays ou de la sous région, la taille minimale de 250 g doit être impérativement atteinte avant la récolte. Pour y arriver, la mise en charge précoce (fin janvier à mi-février par exemple) de juvéniles plus âgés (30 g par exemple) à des densités adéquates semble donc indispensable.

Tableau 1 : Performances de croissances des alevins de *C. gariepinus* élevés en étangs ou en whedos.

Taille initiale (g)	Nombre de semaines	Condition d'élevage	Taille finale (g)	SGR (% jour ⁻¹)	Références
1	22	Polyculture en étang [*]	300	3,70	Hogendoorn & Koops (1983)
1	13	Polyculture en étang ^{**}	64	4,57	Viveen <i>et al.</i> (1985)
8-10	24	Polyculture en étang ^{**}	200-300	1,91–2,02	de Graaf <i>et al.</i> (1996)
1	22	Monoculture en étang ^{***}	135	3,18	Bok & Jongbloed (1984)
1	13	Monoculture en étang ^{**}	62	4,53	Viveen <i>et al.</i> (1985)
1	26	Monoculture en étang ^{**}	200	2,91	Viveen <i>et al.</i> (1985)
36	10	Monoculture en étang ^{**}	130	1,83	de Graaf & Janssen (1996)
2	13	Monoculture en whedos [*]	66	3,90	Imorou Toko <i>et al.</i> , sous presse
2	13	Monoculture en whedos ^{**}	77	4,10	Imorou Toko <i>et al.</i> , sous presse

^{*} sans apport d'aliment exogène ; ^{**} avec apport d'aliment artificiel ; ^{***} en étang fertilisé

Tableau 2 : Production de *C. gariepinus* en fonction du système d'élevage en étang ou en whedo.

Taille du milieu (m ²)	Type de production	Densité finale (kg m ⁻²)	Production (t ha ⁻¹ an ⁻¹)	Références
4210	Extensive commerciale	0,9	11,2	Kenmuir (1993)
200	Extensive de subsistance	0,1	2,6	Bok & Jongbloed (1984)
1000	Intensive commerciale	4,0	48,0	Hetch <i>et al.</i> (1988)
926	Expérimentale	0,5	10,7	El Bollock (1975)
840-972	Expérimentale	0,6	6,5	Prinsloo <i>et al.</i> (1989)
200	Expérimentale	0,4	7,6	Brooks (1994)
10	Extensive expérimentale en whedo	0,3	10,9	Imorou Toko <i>et al.</i> , sous presse
10	Semi intensive expérimentale en whedo	0,4	15,6	Imorou Toko <i>et al.</i> , sous presse

La densité d'élevage est un facteur déterminant de la croissance et de la production en pisciculture. Aux faibles densités, les juvéniles de *C. gariepinus* et *H. longifilis* sont très agressifs et territoriaux alors que ces comportements tendent à diminuer avec le confinement (Hecht & Appelbaum, 1988 ; Kaiser *et al.*, 1995 ; Hecht & Uys, 1997). En effet, l'agressivité et la territorialité dans les populations de poissons-chats élevés aux faibles densités conduisent à une augmentation des mortalités dues aux blessures et infections diverses, au gaspillage des aliments dû à la monopolisation des zones d'alimentation par les individus dominants et, *in fine* à une diminution de la croissance et de la production. Dans les whedos on a aussi observé une amélioration de la croissance et de la production de *C. gariepinus* et *H. longifilis* élevés à des densités de 4 à 24 poissons m⁻³ (Chapitre 2.4 et Chapitre 2.5). Au départ d'alevins de 35 à 40 g et à la densité de mise en charge de 8 poissons m⁻³, nous avons pu obtenir en 70 jours d'élevage les poids finaux de 120 à 150 g environ, respectivement avec *H. longifilis* et *C. gariepinus*. De plus, en augmentant la densité d'élevage de 8 à 24 poissons m⁻³, la production de *C. gariepinus* est passée 22,8 à 36 t ha⁻¹ an⁻¹ ce qui indique bien les potentialités des poissons-chats africains, notamment *C. gariepinus* et *H. longifilis*, à supporter de fortes densité d'élevage en whedos. Cependant, le potentiel de production de *C. gariepinus* en whedo est plus élevé que celui de *H. longifilis*, pour qui on n'a pas observé une amélioration significative de la croissance en passant de 4 à 8 poissons m⁻³. Chez *C. gariepinus*, bien que la densité de 10,5 poissons m⁻³ soit optimale au regard des paramètres zootechniques, la recherche du profit maximale devrait nous amener à suggérer aux producteurs l'utilisation des densités plus élevées, notamment 24 poissons m⁻³. De plus, l'élevage en whedos n'étant possible que durant une courte période de l'année (de février à juin), la maximisation des capacités de production de ces structures semble donc nécessaire pour assurer suffisamment de revenus aux pêcheurs du delta de l'Ouémé, qui passent généralement toute la période de crue (juillet à décembre) à ne pratiquer que la seule activité de pêche sur la plaine inondée. On pourrait donc espérer à travers les revenus générés par l'élevage en whedo, une diminution de l'exode rural, ou tout autre forme de désespoir, au sein de ces communautés pour lesquelles les périodes de crues sont synonymes de ralentissement

économique, vu la réglementation de plus en plus sévère des engins et techniques de pêche et la diminution des captures dans le milieu naturel.

4.2. Contribution à l'optimisation de la production d'alevins de *C. gariepinus* et *H. longifilis* au Bénin

En captivité, la production d'alevins des poissons-chats *Clarias gariepinus* et *Heterobranchus longifilis* nécessite l'utilisation de méthodes artificielles aussi bien pour la maturation finale des géniteurs que pour la fécondation et l'incubation. La stratégie de reproduction de ces deux espèces présente en effet de fortes similitudes, en particulier une fécondité élevée, des œufs adhésifs, une durée d'incubation d'environ 672 degré - heure et une absence de soins parentaux prodigués aux œufs et aux larves. De nos jours, les différentes étapes de cette reproduction artificielle sont assez bien maîtrisées au départ de géniteurs capturés dans le milieu naturel ou provenant d'aquaculture, et induits à la maturation finale par injection d'hormone de synthèse (Ovaprim, HCG, etc.) ou d'extraits hypophysaires de *Clarias* ou de *Heterobranchus*. L'incubation des œufs peut se faire dans des paniers recouverts de toile moustiquaire ou au mieux sur des racines de plantes aquatiques flottantes telles que la laitue d'eau (*Pistia stratiotes*) ou la jacinthe d'eau (*Eichhornia crassipes*). Cependant, les difficultés liées à la survie et à la croissance des larves obtenues restent le facteur limitant la production massive de juvéniles de ces espèces en Afrique en général, et au Bénin en particulier. La maîtrise des paramètres critiques de l'élevage tels que l'âge de sevrage, la densité et l'alimentation des larves, permettrait d'optimiser la production d'un plus grand nombre de juvéniles de ces espèces.

En effet, de nombreuses études notamment celles de Uys & Hecht (1985), Verreth *et al.* (1987), Verreth & van Tongeren (1989), Haylor (1991, 1992), Verreth *et al.* (1993), Kaiser *et al.* (1995) et Imorou Toko & Fiogbé (2003) ont porté sur l'élevage larvaire de *C. gariepinus*. En effet, Uys & Hecht (1985) rapportent que les larves de *C. gariepinus* peuvent être nourries dès la phase d'alimentation exogène (généralement à partir du 3^{ème} jour post éclosion) avec des aliments artificiels à condition que la taille et la qualité des régimes utilisés soient adéquates. Cependant, Verreth & van Tongeren (1989) recommandent de sevrer les larves de *C. gariepinus* après 10 à 14 jours d'alimentation avec des proies vivantes étant donné que l'estomac ne devient complètement fonctionnel que durant cette période (Verreth *et al.*, 1992). Imorou Toko & Fiogbé (2003) ont par ailleurs remarqué une tendance plus élevée au cannibalisme des larves de *C. gariepinus* nourries avec des aliments vivants (nauplii d'*Artemia* ou zooplancton) comparativement à celles ayant reçu un aliment artificiel (de fabrication local, 40 % de protéine) ou mixte (*Artemia* + aliment artificiel ou zooplancton + aliment artificiel). D'autre part, Haylor (1991, 1992) de même que Kaiser *et al.* (1995) ont montré que la croissance et la survie des larves de *C. gariepinus* sont directement liées à la densité des larves dans les structures d'élevage. Selon ces auteurs, aux fortes densités d'élevage, la compétition pour l'aliment et l'espace induit un stress qui se traduit chez les larves de *Clarias* par une diminution du taux de croissance et une augmentation du cannibalisme.

A la différence de *C. gariepinus*, très peu de recherches ont porté sur l'élevage larvaire de *H. longifilis*. Les plus connues sont celles menées en Côte d'Ivoire, au Nigeria ou encore à Tihange en Belgique (Legendre, 1991 ; Legendre & Teugels, 1991 ; Assouhan, 1992 ; Kerdchuen, 1992 ; Kerdchuen & Legendre, 1994 ; Legendre *et al.*, 1995 ; Baras, 1999 ; Baras *et al.*, 1999) principalement sur les aspects bioénergétiques, nutritionnels et comportementaux des larves. Aucune d'elles n'a cependant rapporté de façon précise la période optimale de sevrage des larves, ni l'influence de la densité de stockage au moment du sevrage. Nos recherches (Chapitre 3.2) ont montré que plus tard les larves de *H. longifilis* étaient sevrées, meilleurs étaient les résultats en termes de croissance et de survie. Cependant, dans les pays en développement, le coût et la difficulté d'approvisionnement des cystes d'*Artemia* généralement utilisés comme proies vivantes avant le sevrage limitent sérieusement leur utilisation pendant de longue période. L'utilisation du zooplancton et des macro invertébrés comme alternatives aux nauplii d'*Artemia* chez les larves de *C. gariepinus* a été envisagée par plusieurs auteurs (Fermin & Bolivar, 1991 ; Awaiss & Kestemont, 1998 ; Imorou Toko & Fiogbé, 2003 ; Evangelista *et al.*, 2005). Cependant, les installations techniques nécessaires pour la production quantitative et la conservation de ces proies restent encore défectives dans nos pays. Bien que coûteux, les nauplii d'*Artemia* constituent donc le meilleur aliment aussi bien sur le plan nutritionnel que technique. Au Bénin, les cystes d'*Artemia* ne sont pas disponibles, mais sont cependant commercialisés au Nigeria voisin moyennant 30.000 à 50.000 Fcfa (soit 50 à 80 €) le kilo. Ce prix est perçu par les producteurs locaux comme étant exorbitant, mais reste cependant concurrentiel étant donné les faibles quantités généralement utilisées en larviculture d'une part, et la valeur marchande des alevins de *Clarias* et *Heterobranchus* d'autre part. De plus les nauplii d'*Artemia* semble plus intéressant par rapport à l'utilisation du zooplancton si on évalue le temps et les difficultés qu'aurait engendré la production ou la récolte dans un milieu, aussi fertile soit-il, d'1 kg de poids sec de zooplancton. Par conséquent, pour mieux répondre aux impératifs d'une production à grande échelle, la meilleure alternative à l'utilisation d'*Artemia* (peu disponible localement) consistera donc à sevrer plus tôt les larves avec des régimes artificiels de bonne qualité physique et nutritionnelle et suivant des protocoles adéquats d'alimentation. A cet effet, les résultats de notre étude ont montré que l'utilisation d'*Artemia* est seulement nécessaire durant les deux premiers jours d'alimentation exogène (c'est-à-dire du 3^{ème} au 5^{ème} jour post éclosion).

D'autre part, notre étude a également permis de déterminer que la meilleure densité de stockage des larves de *H. longifilis* au moment du sevrage (au jour 6 post éclosion, notamment) est comprise entre 10 et 25 larves L⁻¹. Cette densité nous paraît assez importante pour atteindre le double objectif de produire rapidement de grand nombre de juvéniles sans dégrader la qualité du milieu. Avec des densités plus élevées (50 larves L⁻¹), on a observé une réduction de la croissance, bien que la survie soit significativement meilleure (91,6 %) comparativement à la densité de 5 larves L⁻¹ (70,3 %). A la densité de 5 larves L⁻¹, la croissance est significativement meilleure (263,2 mg) comparativement à celle des larves maintenues à 10, 25 et 50 larves L⁻¹ (181,9, 132,0 et 102,8 mg, respectivement), mais le taux de mortalité est plus élevé (près de 30 %). Ces variations de la croissance et de la survie en fonction de la densité

sont semblables à celles observées chez les larves de plusieurs espèces (Houde, 1975 ; Haylor, 1991 ; Baras & Jobling, 2002).

Dans le chapitre 3.3 de cette thèse, nous avons examiné les performances de différents régimes de fabrication locale pour le sevrage des larves de *H. longifilis*. Le régime contenant 40 % de tourteau de soja (SBM) a été meilleur aussi bien sur la plan zootechnique que nutritionnel, comparativement aux régimes contenant 40 ou 20 % de tourteau de coton (respectivement CSM ou SBM+CSM). En effet, la forte teneur en fibre du tourteau de coton réduit la digestibilité des aliments ce qui augmente le temps de transit intestinal et par conséquent les prises alimentaires (Arnesen *et al.*, 1989 ; Krogdahl, 1989 ; Hertrampf & Piedad-Pascual, 2000). Ceci peut être aggravé chez les larves de poissons-chats, étant donné le faible développement du système digestif au moment du sevrage (Verreth *et al.*, 1992).

Chez les juvéniles de *C. gariepinus* et *H. longifilis*, l'utilisation des tourteaux de soja et de coton dans les régimes était indispensable, non seulement pour réduire le coût des aliments dû à l'utilisation de farine de poisson de bonne qualité et généralement indisponible localement, mais aussi pour valoriser ces sous-produits de fabrication locale, et disponibles en abondance. Aussi bien chez *C. gariepinus* (Chapitre 3.4) que *H. longifilis* (Chapitre 3.5), les régimes à base des tourteaux ont engendré de bonnes performances zootechniques et nutritionnelles, comparativement à ce qui a été rapporté par d'autres auteurs. En effet, des taux de croissance spécifique de 0,02 à 0,2 % jour⁻¹ (Balogun & Ologhobo, 1989), 1,9 à 3,4 % jour⁻¹ (Hoffman *et al.*, 1997), 2,0 à 2,2 % jour⁻¹ (Fagbenro & Davies, 2001), ou 2,8 à 3,5 % jour⁻¹ (Ali & Jauncey, 2004) ont été rapportés pour des juvéniles de *C. gariepinus* élevés dans les mêmes conditions et nourris avec des régimes à base de farine de poisson ou du tourteau de soja. Dans des conditions similaires d'élevage (en bassin avec des alevins de même taille), Kerdchuen (1992) et Legendre *et al.* (1992) obtiennent des croissances plus faibles (4,27 et 2,68 % jour⁻¹, respectivement) que nous chez les juvéniles de *H. longifilis*. Ces meilleures performances observées avec nos régimes expérimentaux sont probablement dues non seulement à la bonne formulation, des régimes mais aussi à l'utilisation de tourteaux de bonne qualité nutritionnelle. En effet, la combinaison des différents sous-produits aussi bien dans les régimes pour les larves que les juvéniles nous a permis d'avoir des profils en acides aminés indispensables (Tableau 3) satisfaisants les exigences des poissons en général et des poissons-chats en particulier (New, 1987 ; Steffens, 1989 ; Unprasert, 1994 ; Guillaume *et al.*, 1999 ; Hardy & Barrows, 2002). De plus, le procédé de fabrication industrielle des tourteaux de coton et de soja au Bénin (par extraction à chaud) permet d'obtenir des produits de bonne qualité pouvant être utilisés d'avantage dans les régimes alimentaires pour les animaux en général, et les poissons en particulier. Selon Guillaume *et al.* (1999) et Halver & Hardy (2002), la cuisson des tourteaux permet d'améliorer la digestibilité de leur amidon et des autres composés celluloseux. En outre, le chauffage détruit les facteurs antinutritionnels, notamment les facteurs antitrypsiques contenus dans le tourteau de soja et une partie du gossypol retrouvé dans le tourteau de coton (Viola *et al.*, 1983 ; Halver & Hardy, 2002). Cependant, l'acide phytique étant thermostable, il constitue l'un des plus importants facteurs antinutritionnels présents dans les tourteaux

Tableau 3 : Teneurs en acides aminés indispensables (g 100g protéines⁻¹) des différents régimes utilisés (*Calculés d'après Sauvante et al., 2002*).

AAI	<i>Régimes larvaires</i>			<i>Régimes de prégrossissement</i>				
	SBM	CSM	SBM+CSM	Control	SBM30	SBM60	CSM30	CSM60
Arginine	6,50	7,92	7,21	5,86	6,57	7,28	7,73	9,56
Histidine	2,50	2,59	2,55	3,24	3,43	3,57	3,50	3,72
Leucine	7,81	7,13	7,47	9,75	9,77	9,72	9,22	8,64
Isoleucine	4,76	4,18	4,47	4,34	4,42	4,55	3,94	3,61
Lysine	9,46	8,63	9,04	8,24	8,06	7,93	7,36	6,56
Méthionine	4,69	4,71	4,70	2,77	2,36	2,01	2,36	2,00
Méthionine + Cystéine	5,87	5,98	5,92	3,84	3,62	3,43	3,68	3,56
Phénylalanine + Tyrosine	7,93	7,75	7,84	8,20	8,71	9,18	8,56	8,90
Thréonine	4,28	3,97	4,12	4,75	4,74	4,74	4,48	4,24
Tryptophane	1,17	1,17	1,17	1,16	1,27	1,39	1,27	1,39
Valine	5,38	5,28	5,33	6,50	6,42	6,35	6,35	6,20

de coton et de soja. L'évaluation des effets liés à la teneur en acide phytique des différents régimes utilisés dans notre étude aussi bien chez les larves de *H. longifilis* que les juvéniles des deux espèces a montré des différences significatives, notamment en ce qui concerne la composition corporelle en minéraux tels que le Ca, le P, le Zn et le Mn. En effet, le tourteau de soja étant plus riche en acide phytique que celui de coton, son incorporation dans les régimes entraîne une réduction de la teneur corporelle de ces minéraux, comparativement aux régimes à base du tourteau de coton ou de farine de poisson. Néanmoins, en ce qui concerne les paramètres de croissance et d'utilisation alimentaire, les régimes à base de soja ont été plus performants que ceux contenant le tourteau de coton, et ceci est principalement dû à la forte teneur en fibre du tourteau de coton (14 %).

Par ailleurs, le tourteau de coton étant plus disponible et 2 à 3 fois moins cher que celui de soja au Bénin, il paraît important d'analyser au-delà des aspects zootechniques et nutritionnels, la rentabilité économique liée à leur utilisation dans la production d'alevins de *C. gariepinus* et *H. longifilis*. Au regard des difficultés d'identification et d'évaluation des nombreux facteurs qui interviennent dans la production des alevins, notamment au stade larvaire, nous nous sommes gardés de faire une analyse économétrique complète de l'utilisation de nos régimes pour la production de juvéniles de ces espèces. Cependant, les tableaux 4 et 5 montrent, à titre indicatif, le prix de revient d'un alevin de 50 g de *Clarias* et *Heterobranchus* en se basant principalement sur le coût d'alimentation, les autres coûts, notamment ceux liés à l'utilisation de l'eau, à l'amortissement des structures d'élevage et à la main d'œuvre étant égale par ailleurs. On y remarque, quel que soit l'aliment utilisé, de faibles du prix de revient de l'alevin, variant de 90,2 à 96,3 Fcfa chez *C. gariepinus* et de 86,5 à 88,5 Fcfa chez *H. longifilis*. Cependant, cette analyse ne tient pas compte des taux de croissance, qui sont généralement plus élevés chez les poissons nourris avec les régimes à base de soja ou de farine de poisson. C'est dire donc qu'à long terme et pour des objectifs de productions plus importantes, les régimes à base de soja pourraient s'avérer beaucoup plus rentables que ceux à base de coton. Néanmoins, le tourteau de coton étant beaucoup plus disponible localement et moins cher, il est nécessaire d'approfondir les recherches technologiques permettant de le rendre plus performant dans les régimes alimentaires pour poissons.

De nos jours, l'utilisation des aliments commerciaux, notamment ceux de la firme hollandaise Coppens International, se développe de plus en plus. Ces aliments indisponibles localement proviennent du marché nigérian, et sont vendus de manière informelle au Bénin après de longue période de conservation inadéquate. Leur coût varie par conséquent d'un commerçant à l'autre, et reste cependant toujours supérieur à 1.000 Fcfa kg⁻¹ d'aliment pour juvéniles (40 % de protéines) et plus de 3.000 Fcfa kg⁻¹ d'aliment larvaire (50 % de protéine). Malgré leur coût relativement élevé, ils sont de plus en plus adoptés par beaucoup de producteurs qui y trouvent une rentabilité certaine, vu leur excellents taux de conversion et les forts taux de croissance engendrés. Cependant, les difficultés d'approvisionnement n'assurent pas un avenir radieux à leur utilisation. De plus, la dépendance vis-à-vis d'aliments ou de sous-produits d'importation constitue un véritable danger au développement durable de la

production piscicole nationale. Dans ce contexte, les performances zootechniques et économiques obtenues avec les différents régimes formulés et testés au cours de nos recherches constituent des acquis précieux au développement de la production d'alevins des silures *C. gariepinus* et *H. longifilis*, condition *sine qua non* pour la promotion et le développement de leur production dans les différents systèmes d'élevage au Bénin. Des efforts de vulgarisation et de valorisation de ces régimes doivent donc être déployés par les différents acteurs gouvernementaux ou non (direction des pêche, ONG, entrepreneurs, chercheurs, etc.) intervenant dans le développement piscicole béninois. Des études ultérieures de formulation alimentaire seront indispensables pour la mise au point d'aliment économiquement rentable aussi bien pour le grossissement des poissons-chats dans les whedos que pour la production complète d'autres espèces à fortes potentialités piscicoles telles que *Heterotis niloticus*, *Chrysichtys nigrodigitatus* et *Parachanna obscura*. Elles devraient, le cas échéant, se pencher sur des combinaisons de sous-produits permettant de supprimer l'utilisation de la farine de poisson (importé) ou encore les performances d'autres ingrédients riches en protéines tels que les déchets d'abattoir, de poissons ou certains sous-produits d'origine végétale. Cependant, les perspectives de production locale (artisanale ou industrielle) de la farine de poisson à partir d'espèces marine ou d'eau douce à forte productivité et d'intérêt commercial moindre sont à étudier.

Tableau 4 : Comparaison des coûts de prégrossissement d'un alevin de 10 g de *C. gariepinus* en fonction du régime utilisé (1 €= 655,957 Fcfa).

(Fcfa)	Control	SBM30	SBM60	CSM30	CSM60
Coût d'un alevin de 10 g	70	70	70	70	70
Coût d'un kg d'aliment	649,9	581,9	534,9	533,8	440,4
Taux de conversion alimentaire	1,01	1,09	1,05	1,02	1,15
Coût de prégrossissement d'1 alevin de 50 g	26,3	25,3	22,4	21,7	20,2
Prix de revient d'un alevin de 50 g	96,3	95,3	92,4	91,7	90,2

Tableau 5 : Comparaison des coûts de prégrossissement d'un alevin de 10 g de *H. longifilis* en fonction du régime utilisé (1 €= 655,957 Fcfa).

(Fcfa)	Control	SBM30	SBM60	CSM30	CSM60
Coût d'un alevin de 10 g	70	70	70	70	70
Coût d'un kg d'aliment	649,9	581,9	534,9	533,8	440,4
Taux de conversion alimentaire	0,71	0,71	0,80	0,80	0,98
Coût de prégrossissement d'1 alevin de 50 g	18,5	16,5	17,0	17,2	17,3
Prix de revient d'un alevin de 50 g	88,5	86,5	87,0	87,2	87,3

4.3. Eléments de réflexion pour la valorisation des acquis de la recherche

L'aménagement de la vaste plaine inondable de la Vallée de l'Ouémé s'inscrit dans le programme d'action des différents gouvernements successifs du Bénin depuis les années 1960. Il est encore bien repris dans la nouvelle stratégie nationale de relance des productions agricoles à travers le Programme d'Appui au Développement Agricole de la Vallée de l'Ouémé (PADAVO) qui sera lancé en mars 2008 et dont l'un des objectifs spécifiques est de promouvoir la mutation des productions de type familial vers des systèmes de production semi intensives, voire intensives. Dans ce contexte, la faisabilité scientifique et technique de la production massive d'alevins de silures et leur grossissement en whedos telle que étudiée au cours de nos recherches, constituent des acquis indispensables à la réalisation de la pisciculture en whedos. Par conséquent, la transposition des résultats obtenus au développement réel de l'élevage des poissons-chats dans les whedos du delta de l'Ouémé permettrait, d'une part, de renforcer les capacités de production de juvéniles de ces espèces et, d'autre part, de maîtriser quelques aspects de l'élevage en whedos, tels que la période et les densité de mise en charge, l'alimentation, etc.

Les techniques de production massive de juvéniles des poissons-chats africains requièrent, pour être optimales, de disposer d'écloseries bien équipées et de personnels techniques compétents. A titre indicatif, la mise en charge simultanée des 1.100 ha de whedos, rapporté par Welcomme depuis 1971, nécessiterait près de 58 millions d'alevins si on appliquait la densité optimale de 10,5 poissons m⁻³. La production nationale cumulée d'alevins de silure, actuellement assurée par le Centre d'alevinage de Tohouhou dans le Mono, le Centre Songhaï de Porto-Novo, le Centre piscicole de Thian à Parakou, les stations piscicoles de l'URZH / FAST / UAC et du LHA / FSA / UAC et quelques pisciculteurs isolés notamment à Avagbodji, Avrankou, Pobè et Sakété dans les Départements de l'Ouémé / Plateau, est de nos jours, largement inférieure à la demande des pisciculteurs qu'on pourrait estimer à plus d'un million par an. Afin de pouvoir empoissonner un plus grand nombre de whedos, le renforcement des capacités de production des structures déjà existantes et les possibilités d'installation d'un ou de plusieurs centres de production (privés ou étatiques) d'alevins de *C. gariepinus* et *H. longifilis* dans la Vallée de l'Ouémé sont donc à envisager.

Dans ce contexte, les différents acteurs du développement rural, notamment l'Etat et les ONG locales ou internationales intervenant dans le secteur, doivent promouvoir à travers des crédits ou tout autre forme de financement des projets de production commerciale d'alevins de silure dans les départements de l'Ouémé / Plateau en général et dans la Vallée de l'Ouémé en particulier. Ainsi donc, la stratégie de réduction de la pauvreté adoptée et mise en œuvre méthodiquement par le gouvernement devrait favoriser la réalisation des projets et programmes initiés par les collectivités locales dont la mission première et fondamentale est de cerner et de résoudre au mieux, les problèmes auxquels les populations sont confrontées à la base. Le fonds de soutien au développement de la microfinance, à travers le programme actuel de micro crédits aux plus pauvres en vue de les insérer dans les systèmes productifs, devrait également promouvoir de façon spécifique la production piscicole dans les départements de

l'Ouémé et du Plateau. Par ailleurs, l'organisation des pêcheurs en groupement de production leur permettrait d'accéder plus facilement aux différents crédits ou subventions octroyés aussi bien par l'Etat que les ONG de microfinance ou de solidarité. Ainsi, le programme d'urgence d'installation d'au moins 3000 jeunes exploitants agricoles dans la Vallée de l'Ouémé, adopté au cours du Conseil des ministres du 22 août 2007, qui s'inscrit dans le cadre de l'opérationnalisation de la vision du gouvernement de réaliser une véritable révolution verte à travers un développement agricole intégré, ne devrait pas tenir compte seulement des filières de productions socio économiquement rentables, mais aussi du niveau d'organisation des producteurs, gage de leur crédibilité et de leur solvabilité. Aussi, les ONG et autres structures de suivi et d'aide à la production piscicole dans la Vallée de l'Ouémé ne devraient-elles pas s'inspirer de la stratégie adoptée par l'ONG Internationale Française « Elevage Sans Frontières » qui est une association de solidarité à but non lucratif qui aide les populations des pays en développement à mieux se nourrir et à acquérir une autonomie durable grâce à l'élevage. La vision de développement de cette association, déjà implanté dans la Vallée de l'Ouémé, est basée sur le principe original de « *Passage de don* » inventé et expérimenté depuis plus de 60 ans par l'organisation Américaine « Heifer International ». En effet, pour chaque alevin reçu, tout groupement ou famille aidé s'engage à transmettre un alevin (ou les frais d'achat d'un alevin) né de l'élevage à un autre groupement ou famille. En recevant des animaux, du matériel ou une formation, les populations cibles peuvent ainsi enrichir leur alimentation et se procurer une source durable de revenus donnant accès à l'éducation, aux soins médicaux, bref à des conditions de vie plus décentes.

En définitive et selon les premières approches de nos investigations, on pourrait conclure que les objectifs définis en début de recherche ont été atteints. Cependant, des étapes pilotes de validation de ces résultats à des échelles plus grandes de production (en are ou hectare) sont indispensables afin d'assurer une meilleure transposition des acquis de cette étude au développement réel de la production piscicole dans les whedos. Par ailleurs, l'intensification de la production piscicole telle que envisagée dans les whedos du delta de l'Ouémé pourrait engendrer un certain nombre de problèmes, notamment d'impact environnemental lié à l'utilisation généralisée d'aliments composés. D'autre part, cette production saisonnière intensive pourrait se heurter à d'énormes difficultés aux nombres desquelles on peut citer l'écoulement, la conservation et la commercialisation des poissons produits. Vivement donc que les décideurs politiques et techniques des différents maillons du développement agronomique puissent donc conjuguer leurs efforts pour l'aménagement des plaines de la Vallée de l'Ouémé en de vastes systèmes agro-piscicoles intégrés. L'intégration de la pisciculture à production végétale, notamment de légumes (piment, tomate, épinard, etc.), déjà produits dans la Vallée de l'Ouémé permettrait non seulement d'améliorer les rendements, mais surtout de valoriser les déchets issus des différentes productions tout en maîtrisant les flux d'énergies dans le système.

En fin, il serait souhaitable que les institutions internationales de coopération au développement qui encouragent de nos jours les projets de recherches liées au développement s'investissent d'avantage dans l'application réelle des acquis de ces recherches. Il s'agit plus précisément de soutenir des projets réels de développement

participatif, à travers l'octroi de financements ou d'équipement aux structures de recherches ou aux organisations gouvernementales ou non spécialisées dans le développement en milieu rural.

4.4. Références

- Ali, M.Z., Jauncey, K., 2004. Evaluation of mixed feeding schedules with respect to compensatory growth and body composition in African catfish *Clarias gariepinus*. *Aquaculture Nutrition* **10**, 39-45.
- Arnesen, P., Battås, L.E., Olli, J., Krogdahl, Å., 1989. Soybean carbohydrates appear to restrict the utilization of nutrients by Atlantic salmon (*Salmo salar*, L). In: M. Takeda and T. Watanabe (Editors), *Proc. of the 3rd Int. Symp. on Feeding and Nutrition in Fish, August 28 – September 1, 1989*, Toba, Japan; pp. 273-280.
- Assouhan, J., 1992. Etude des facteurs du milieu sur la survie et la croissance larvaire d'un silure africain *Heterobranchus longifilis*. Mémoire d'Ingénieur, ENSA Rennes, France, 34p.
- Awaiss, B., Kestemont, P., 1998. Feeding sequences (rotifer and dry diet), survival, growth and biochemical composition of African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822) larvae. *Aquaculture Research* **29**, 731-741.
- Balogun, A.M. and Ologhobo, A.D., 1989. Growth performance and nutrient utilization of fingerling *Clarias gariepinus* (Burchell) fed raw and cooked soybean diets. *Aquaculture* **76**, 119-126.
- Baras, E., 1999. Functional implications of early sexual growth dimorphism in vundu. *Journal of Fish Biology*, **54**, 119-124.
- Baras, E., Tissier, F., Philippart, J.C., Mélard, C., 1999. Sibling cannibalism among juvenile vundu under controlled conditions. **II**. Effect of body weight and environmental variables on the periodicity and intensity of type II cannibalism. *Journal of Fish Biology*, **54**, 106-118.
- Baras, E., Jobling, M., 2002. Dynamics of intracohort cannibalism in cultured fish. *Aquaculture Research* **33**, 461-479.
- Bok, A.H., Jongbloed, H., 1984. Growth and production of sharptooth catfish, *Clarias gariepinus* (Pisces: Clariidae) in organically fertilized ponds in the Cape Province, South Africa. *Aquaculture* **36**, 141-155.
- Brooks, A., 1994. Polyculture works well in Malawi. *Fish Farmer* **8**, 4-5.
- Dah Lokonon, M., 1977. Les trous à poissons dans le bas-Bénin et leurs incidences socio-économiques., Mémoire de fin de cycle pour l'obtention du D.E.A.T, Sékou, Bénin, 97 p.
- de Graaf, G., Janssen, J., 1996. Handbook on the artificial reproduction and pond rearing of the African catfish *Clarias gariepinus* in sub-Saharan Africa. FAO, Fisheries technical paper, 362 p.
- de Graaf, G.J., Galemoni, F., Banzoussi, B., 1996. Recruitment control of Nile tilapia, *Oreochromis niloticus*, by the African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822)

- and, the African snakehead, *Ophiocephalus obscuris*. I. A biological analysis. *Aquaculture* **146**, 85-100.
- El Bolock, A.R., 1975. Study on the biology and culture of *Clarias lazera* in Egyptian ponds. PhD. Thesis. Cairo University, Egypt.
- Evangelista, A. D., Fortes, N. R., Santiago, C. B., 2005. Comparison of some live organisms and artificial diet as feed for Asian catfish *Clarias macrocephalus* (Günther) larvae. *Journal of Applied Ichthyology* **21**, 437-443.
- Fagbenro, O.A., Davies, S.J., 2001. Use of soybean flour (dehulled, solvent-extracted soybean) as a fish meal substitute in practical diets for African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell 1822): growth, feed utilization and digestibility. *Journal of Applied Ichthyology* **17**, 64-69.
- Fermin, A.C., Bolivar, E.C., 1991. Larval rearing of the Philippine freshwater catfish, *Clarias macrocephalus* Günther, fed live zooplankton and artificial diet: a preliminary study. *Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh* **43**, 87-94.
- Guillaume, J., Kaushik, S., Bergot, P., Metailler, R., 1999. Nutrition et alimentation des poissons et crustacés. Ed. INRA, Paris, 485 p.
- Hardy, R.W., Barrows, F.T., 2002. Diet formulation and manufacture. In: J.E Halver and R.W. Hardy (Editors), *Fish Nutrition*, 3rd edn. Academic Press, New York, pp. 505-600.
- Haylor, G.S., 1991. Controlled hatchery production of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822): growth and survival of fry at high stocking density. *Aquaculture and Fisheries Management* **22**, 405-442.
- Haylor, G.S., 1992. Controlled hatchery production of *Clarias gariepinus* (Burchell) : growth and survival of larvae at high stocking density. *Aquaculture and Fisheries Management* **23**, 303-314.
- Hecht, T., Appelbaum, S., 1988. Observations on intraspecific aggression and coeval sibling cannibalism by larval and juvenile *Clarias gariepinus* (Clariidae; Pisces) under controlled conditions. *Journal of Zoological Society of London* **214**, 21-44.
- Hecht, T., Uys, W., 1997. Effect of density on the feeding and aggressive behaviour in juvenile African catfish, *Clarias gariepinus*. *South African Journal of Sciences* **93**, 537-541.
- Hecht, T., Uys, W., Britz, P.J., 1988. The culture of sharptooth catfish, *Clarias gariepinus* in southern Africa. South African National Scientific Programmes Report. No 153. CSIR, Pretoria, 133 p.
- Hertrampf, J.W., Piedad-Pascual, F., 2000. Handbook on ingredients for aquaculture feeds. Kluwer Academic Publishers, The Netherland, 573 p.
- Hoffman, L.C., Prinsloo, J.F., Rukan, G., 1997. Partial replacement of fish meal with either soybean meal, brewers yeast or tomato meal in the diets of African sharptooth catfish *Clarias gariepinus*. *Water SA* **23** (2), 181-186.
- Hogendoorn, H., Koops, W.J., 1983. Growth and production of African catfish, *Clarias lazera* (C. and V.). I. Effects of stocking density, pond size and mixed culture with tilapia (*S. niloticus* L.) under extensive field conditions. *Aquaculture* **34**, 253-263.
- Houde, E.D., 1975. Effect of stocking density and food density on survival, growth and yield of laboratory reared larvae of sea bream, *Archosargus rhomboides* L. (Sparidae). *Journal of Fish Biology* **7**, 115-127.

- Imorou Toko, I., Fiogbé, E.D., 2003. Etude comparée des performances nutritionnelles de différents aliments chez les larves de *Clarias gariepinus* (Burchell 1822). In : book of abstract [Proc.] of the 3rd International Conference of the Pan Africa Fisheries Society, Cotonou (Benin), November 10-14, 2003, PICARTS (Ed), p 299.
- Imorou Toko, I., Fiogbe, E.D., Kestemont, P., Essai d'élevage de *Clarias gariepinus* en whedos. *Journal of Afrotropical Zoology* (Sous presse).
- Kaiser, H., Weyl, O., Hecht, T., 1995. The effect of stocking density on growth, survival and agonistic behaviour of African catfish. *Aquaculture International* **3**, 217-225.
- Kenmuir, D., 1993. Along the Orange. *Effective Farming* (March), 170-174.
- Kerdchuen, N., 1992. Alimentation artificielle d'un silure africain *Heterobranchus longifilis* (Teleostei : Clariidae) : Incidence du mode d'alimentation et première estimation des besoins nutritionnels. Thèse de doctorat, Université de Montpellier II, 182p.
- Kerdchuen, N., Legendre, M., 1992. Effect favorable des fortes densités pour l'adaptation d'un silure africain, *Heterobranchus longifilis* (Pisces, Clariidae) en bacs de petit volume, *Revue d'Hydrobiologie Tropicale* **25**, 63-67.
- Kerdchuen, N., Legendre, M., 1994. Larval rearing of an African catfish, *Heterobranchus longifilis* (Teleostei, Clariidae): a comparison between natural and artificial diet. *Aquatic Living Resources*, **7**, 247-253.
- Krogdahl, Å., 1989. Alternative protein sources from plants contain antinutrients affecting digestion in salmonids. In: M. Takeda and T. Watanabe (Editors), Proc. of the 3rd Int. Symp. On Feeding and Nutrition in Fish, August 28 – September 1, 1989, Toba, Japan; pp. 253-261.
- Legendre, M., 1991. Potentialités aquacoles des Cichlidae (*Sarotherodon melanotheron*, *Tilapia guineensis*) et Clariidae (*Heterobranchus longifilis*) autochtones des lagunes ivoiriennes. Thèse de doctorat, Université Montpellier II, 83p.
- Legendre, M., Teugels, G.G., 1991. Développement et tolérance à la température des oeufs de *Heterobranchus longifilis*, et comparaison des développements larvaires de *H. longifilis* et de *C. gariepinus* (Teleostei, Clariidae). *Aquatic Living Resources*, **4**, 227-240.
- Legendre, M., Teugels, G.G., Cauty, C., Jalabert, B., 1992. A comparative study on morphology, growth rate and reproduction of *Clarias gariepinus* (Burchell 1822), *Heterobranchus longifilis* (Valenciennes 1840) and their reciprocal hybrids (pisces, Clariidae). *Journal of Fish Biology* **40**, 59-79.
- Legendre, M., Kerdchuen, N., Corraze, G., Bergot, P., 1995. Larval rearing of an African catfish *Heterobranchus longifilis* (Teleostei; Clariidae): effect of dietary lipids on growth, survival and fatty acid composition of fry. *Aquatic Living Resources*, **8** (4), 355-363.
- New, N.B., 1987. Feed and Feeding of Fish and Shrimp: A Manuel on the Preparation Presentation of Compound Feeds for Shrimp and Fish in Aquaculture. FAO, ADCP, Roma, p. 275.

- Nonfon, M., 1988. Données préliminaires sur l'écologie et la production halieutique des « trous à poissons » de la rive gauche de la basse vallée de l'Ouémé. Mémoire d'Ingénieur Agronome, FSA/UNB, 152 p.
- Prinsloo, J.F., Schoonbee, H., van der Walt, I.H., Pretorius, M., 1989. Production of the sharptooth catfish *Clarias gariepinus* (Burchell) and European common carp *Cyprinus carpio* with artificial feeding in polyculture in maturation ponds at Seshego, Lebowa. *Water S.A.* **15**, 43 – 47.
- Programme d'Aménagement des Zones Humides, PAZH, 2000. Etude du Projet d'aménagement des plans d'eau du Sud-Bénin : Synthèse de l'état des lieux et cadre de développement. Volume I, Rapport final.
- Sauvant, D., Perez, J.-M., Tran, G., 2002. Tables de composition et de valeur nutritive des matières premières destinées aux animaux d'élevage. Edition INRA, Paris, 301pp.
- Steffens, W., 1989. Principles of fish nutrition, West Sussex, Ellis Horwood Ltd., 384p.
- Unprasert, N.G., 1994. An evaluation of the use of "ideal" protein concept to estimate essential amino acid requirements of the *Clarias* hybrid (*Clarias macrocephalus* x *Clarias gariepinus*). PhD Dissertation, Mississippi State University, Mississippi State, MS.
- Uys, W., Hecht, T., 1985. Evaluation and preparation of an optimal feed for the primary nursing of *Clarias gariepinus* larvae (Pisces: Clariidae). *Aquaculture* **47**, 173-183.
- Verreth J., van Tongeren, M., 1989. Weaning time in *Clarias gariepinus* (Burchell) larvae. *Aquaculture* **83**, 81-88.
- Verreth, J., Eding, E.H., Rao, G.R.M., Huskers, F., Segner, H., 1993. A review of feeding practices, growth, nutritional physiology in larvae of the catfishes *Clarias gariepinus* and *Clarias batrachus*. *Journal of the World Aquaculture Society* **24**, 135-144.
- Verreth, J., Storch, V., Segner, H., 1987. A comparative study of the nutritional quality of decapsulated *Artemia* cysts, micro-encapsulated egg diets and enriched dry feed for *Clarias gariepinus* (Burchell) larvae. *Aquaculture* **63**, 269-282.
- Verreth, J., Torreele, E., Spazier, E., Van der Sluizen, A., Rombout, J.H.W.M., Booms, R., Segner, H., 1992. The development of a functional digestive system in the African catfish *Clarias gariepinus* (Burchell). *Journal of the World Aquaculture Society* **23**, 286-298.
- Viola S., Mokady, S., Arieli, Y., 1983. Effects of soybean processing methods on the growth of carp (*Cyprinus carpio*). *Aquaculture* **32**, 27-38.
- Viveen, W.J.A.R., Richter, C.J.J., van Oordt, P.G.W.J., Janssen, J.A.L., Huisman, E.A., 1985. Practical manual for the culture of the African catfish (*Clarias gariepinus*). The Netherlands Ministry for Development Cooperation, Section for Research and Technology, 128 p.
- Welcomme, R.L., 1975. The fisheries ecology of African floodplains. CIFA Technical Paper No. 3, 51 p.
- Welcomme, R.L., 1971. Evaluation de la pêche intérieure, son état actuel et ses possibilités. Rome, FAO AT 2938 (Dahomey), 95 p.

ANNEXES

Annexe 1 : Questionnaire de l'enquête socio-économique dans la Vallée de l'Ouémé *(Avec la collaboration de Alexandre Biaou, INSAE, Cotonou)*

<div>MODULE MAIN D'OEUVRE (B.)</div> <div>→</div>	
<div>B1. Combien de personnes (y compris vous même) travaillent actuellement dans les whedos ?</div> <div>Total</div> <div><div><div></div></div></div> <div>dont : - salariés</div> <div><div><div></div></div></div> <div>- non salariés</div> <div><div><div></div></div></div>	<div><div></div></div> <div><div></div></div> <div><div></div></div>

MODULE PRODUCTION (C.)

[illegible]

C2a. PRODUITS TRANSFORMES ET VENDUS

[illegible]

C2b. PRODUITS VENDUS SANS TRANSFORMATION

	Groupes de produits revendus en l'état (description détaillée)		Valeur mensuelle	Desti- nation
1				□□
2				□□
3				□□
4	Autres produits vendus			
		TOTAL ANNUEL	□□□□□□□□□□	

C2e. TOTAL DU REVENU ANNUEL | | | | | | | |
(C2a + C2b)

<u>Code destination</u> : 1. Secteur public et para-public	2. Grande entreprise privée (commerce)	3. Petite entreprise (commerce)
4. Grande entreprise privée (non commerciale)	5. Petite entreprise (non commerciale)	6. Ménage
7. Exportation directe	8. Autoconsommation	9. Consommation intermédiaire
		0. Stock

Produit	Valeur mensuelle	Destination
---------	------------------	-------------

--	--	--	--

[illegible]

--	--	--	--

--	--	--	--

--	--	--	--	--

Produit	Valeur mensuelle	Destination
---------	------------------	-------------

—	—	—	—		—	—	—	—	—	—	—		—

[illegible]

--	--	--	--

[illegible]

--	--	--	--	--

MODULE DEPENSES ET CHARGES (D.)

D1a. Pour votre activité au cours de l'an dernier, combien avez-vous dépensé pour les matières premières ?

	Groupes de produits par valeur décroissante (description détaillée)	Valeur	Financement	Origine
1			<input type="text"/>	<input type="text"/>
2			<input type="text"/>	<input type="text"/>
3			<input type="text"/>	<input type="text"/>
4	Autres matières premières		<input type="text"/>	<input type="text"/>
	TOTAL ANNUEL	<input type="text"/>		

Produit Valeur mensuelle Financement Origine

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

D1b. Pour les produits vendus en l'état au cours l'an dernier, combien avez-vous dépensé ?

	Groupes de produits par valeur décroissante (description détaillée)	Valeur	Financement	Origine
1			<input type="text"/>	<input type="text"/>
2			<input type="text"/>	<input type="text"/>
3			<input type="text"/>	<input type="text"/>
4	Autres produits vendus		<input type="text"/>	<input type="text"/>
	TOTAL ANNUEL	<input type="text"/>		

Produit Valeur mensuelle Financement Origine

<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>

Code origine : 1. Secteur public 2. Grande entreprise privée (commerce) 3. Petite entreprise (commerce)
 4. Grande entreprise privée (non commerciale) 5. Petite entreprise (non commerciale) 6. Ménage 7. Importation directe
Code financement : 1. Epargne, don 2. Avances clients 3. Prêt 4. Autres

D4. Quelles sont, au total, les charges de votre activité au cours de l'an dernier ?

Charges	Période	Valeur	Origine
Matières premières (report du total D1a)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Petit outillage	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Transport	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Autres services	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Rémunérations	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Impôts locaux (ticket, place)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
Autres charges _____ (Préciser)	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>
TOTAL ANNUEL :		<input type="text"/>	

Valeur mensuelle	Origine
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>
<input type="text"/>	<input type="text"/>

Code période : 1. Jour 2. Semaine 3. Quinzaine 4. Mois 5. Tous les deux mois 6. Trimestre 7. Annuel

Code origine : 1. Secteur public 2. Grande entreprise privée (commerce) 3. Petite entreprise (commerce)

4. Grande entreprise privée (non commerciale) 5. Petite entreprise (non commerciale) 6. Ménage 7. Importation directe

Annexe 2: Questionnaire de l'enquête socio-économique sur les whedos

Date :

Questionnaire d'enquête whedo 2006*

Localité :

Age :

Nom et Prénoms :

Sexe :

Situation matrimoniale :

Nbre de femmes :

Nbre d'enfants :

Nbre d'enfants scolarisés :

1/ Activités menées : Agriculture : ☐ Elevage : ☐ Pêche : ☐ Commerce : ☐ Autres :

(NB : Encadrer l'activité principale)

2/ Revenu par activité : Agriculture : Elevage : Pêche : Commerce : Autres :

3/ Nbre total de propriétaire de trou dans la localité :

4/ Nbre total de trou dans la localité :

5/ Nbre personnel de trou :

6/ Dimensions moyennes des trous : Longueur : Largeur : Profondeur :

7/ Mode d'acquisition des trous : Héritage ☐ Achat ☐ Gage ☐ Creusage : ☐ Autres :

8/ Coût d'acquisition (Fcfa) :

9/ Période d'exploitation des trous : janv : ☐ Févr : ☐ Mars : ☐ Avril : ☐

Mai : ☐ Juin : ☐ Autres :

10/ Nbre d'exploitation/an :

11/ Production moyenne annuelle d'un trou (en kg) :

12/ Revenu annuel obtenu de l'exploitation des whedos (Fcfa) :

13/ Coût d'aménagement et d'exploitation des whedos (Fcfa) :

14/ Bénéfice net (Fcfa) :

15/ Utilisation des revenus : Mariage : ☐ Cérémonies de deuil : ☐ Libération : ☐ Santé : ☐

Scolarisation : ☐ Ménage : ☐ Spirituel ou fétiche : ☐ Autres :

Remarques : Nbre de personnes utilisées lors de l'exploitation des trous; outils utilisés pour l'aménagement et la pêche ; circuit de commercialisation, etc.

* Enquêteurs : Joël OGOU et Lucien NOUATIN

Annexe 3 : Matrice des données pour l'analyse multivariée (Chapitre 2.3)

DONNEES BRUTES														
Stations	Mois	Class	Size	W.lev.	T	O2	pH	Cond.	Transp.	NO2-	NH3	Microalgal	Copepods	Cladocer
F	Mars				31,00	7,82	6,74	101,4	106	0,005	0,003	61,888	18,75	3,5
F	avril				31,20	6,80	6,55	105,6	115	0,005	0,003	68,816	20	2,75
F	mai				30,95	5,60	6,83	107,7	113	0,004	0,003	89,64	18,25	2,3
F	juin				29,80	6,80	6,60	107	100	0,006	0,003	85,4	19,5	3,2
Wh1	Mars	M	290,2	0,13	29,88	2,05	6,73	117,7	12	0,017	0,002	0,1386264	111,25	7,5
Wh1	avril	M	290,2	0,13	29,36	2,52	6,46	128,6	18	0,017	0,003	0,2772528	98,6	4,25
Wh1	mai	M	290,2	0,13	29,81	1,27	6,33	120,7	24	0,054	0,007	0,2772528	90,5	2,25
Wh1	juin	M	290,2	0,13	29,25	2,53	6,34	120,4	25	0,057	0,005	0,4158792	70	1,75
Wh2	Mars	M	246,5	0,19	28,94	2,10	6,73	97,05	10	0,012	0,003	0,4158792	156,25	25
Wh2	avril	M	246,5	0,19	29,17	2,55	6,05	102,5	13	0,021	0,027	0,1386264	104,3	20,25
Wh2	mai	M	246,5	0,19	29,11	2,66	6,36	105,3	14	0,116	0,008	0,2079396	104,5	18,35
Wh2	juin	M	246,5	0,19	28,53	2,60	6,11	108,2	13	0,138	0,005	0,2772528	100,15	14,1
Wh3	Mars	M	230,4	0,19	29,63	1,36	6,44	36,8	16	0,003	0,043	0,2772528	106,25	5
Wh3	avril	M	230,4	0,19	29,38	2,01	5,87	41	18	0,010	0,063	0,0693132	117,2	4,15
Wh3	mai	M	230,4	0,19	29,11	2,66	6,36	105,3	24	0,081	0,019	0,1386264	110,6	3
Wh3	juin	M	230,4	0,19	29,63	2,99	6,31	79,8	21	0,100	0,007	0,1386264	92,4	1,25
Wh4	Mars	S	113,4	0,13	29,40	1,77	6,56	59,28	22	0,012	0,003	0,5545056	20	1,25
Wh4	avril	S	113,4	0,13	30,78	0,59	6,03	60,6	20	0,018	0,024	0,1386264	28,25	1,25
Wh4	mai	S	113,4	0,13	29,66	0,79	6,17	65,83	24	0,028	0,043	0,0693132	19,4	0,75
Wh4	juin	S	113,4	0,13	29,20	2,97	6,41	41,15	23	0,035	0,031	0,1386264	15,3	0,22
Wh5	Mars	S	167,4	0,24	28,43	2,52	6,88	94,23	16	0,003	0,003	0,4158792	202,5	8,75
Wh5	avril	S	167,4	0,24	28,11	2,55	6,17	104,4	15	0,012	0,011	0,2772528	195,6	8,05
Wh5	mai	S	167,4	0,24	28,83	1,80	6,54	99,68	15	0,089	0,004	0,346566	170,25	6,44
Wh5	juin	S	167,4	0,24	28,70	2,77	6,70	104	16	0,083	0,001	0,4158792	100,75	4,77
Wh6	Mars	M	235,7	0,22	28,75	0,83	6,81	164,5	19	0,010	0,002	0,1386264	81,25	5
Wh6	avril	M	235,7	0,22	29,31	3,12	6,01	167	23	0,018	0,007	0,5545056	70,06	3,2
Wh6	mai	M	235,7	0,22	28,71	1,61	6,34	172,9	26	0,068	0,011	0,4158792	50,2	1,77
Wh6	juin	M	235,7	0,22	29,23	4,14	6,52	173,7	23	0,078	0,005	0,4158792	30,25	0,19
Wh7	Mars	L	370,6	0,24	29,39	1,60	7,15	116,7	21	0,007	0,007	0,1386264	61,25	6,25
Wh7	avril	L	370,6	0,24	29,55	2,29	6,82	144,2	20	0,015	0,021	0,2772528	55,47	4,5
Wh7	mai	L	370,6	0,24	30,00	2,72	6,54	125,4	23	0,050	0,019	0,2772528	40,1	2,75
Wh7	juin	L	370,6	0,24	28,83	2,61	7,02	147	21	0,050	0,007	0,2772528	42,25	1,25
Wh8	Mars	L	496,5	0,24	29,50	1,94	6,81	125,5	11	0,012	0,002	0,4158792	8,75	2,5
Wh8	avril	L	496,5	0,24	28,91	0,82	6,49	125,9	12	0,013	0,003	0,5545056	17,77	1,08
Wh8	mai	L	496,5	0,24	30,14	2,01	6,49	128,7	15	0,347	0,003	0,1386264	12,2	0,95
Wh8	juin	L	496,5	0,24	28,88	3,25	6,47	126,6	12	0,415	0,001	0,5545056	8	0,75
Wh9	Mars	L	324,1	0,26	29,85	3,78	6,93	73,73	16	0,026	0,006	0,1386264	5	3,75
Wh9	avril	L	324,1	0,26	31,23	3,85	6,60	74,28	18	0,048	0,051	0,2772528	8,25	2,09
Wh9	mai	L	324,1	0,26	29,38	1,63	6,43	71,1	22	0,025	0,033	0,2772528	7,75	2,15
Wh9	juin	L	324,1	0,26	28,58	2,45	6,59	58,28	20	0,021	0,021	0,2772528	5,75	1,65
Wh10	Mars	M	297,4	0,22	27,73	1,35	6,90	66,23	21	0,017	0,001	0,1386264	248,75	20,1
Wh10	avril	M	297,4	0,22	28,43	1,64	6,63	66,83	23	0,018	0,003	0,2772528	240,25	15,25
Wh10	mai	M	297,4	0,22	29,98	1,44	6,43	111	26	0,009	0,008	0,1386264	237,25	7,75
Wh10	juin	M	297,4	0,22	28,40	3,68	6,35	132,5	21	0,010	0,005	0,2772528	188,25	6,17
Wh11	Mars	S	162,5	0,17	29,58	2,65	6,87	88,7	24	0,018	0,001	0,2772528	18,75	2,5
Wh11	avril	S	162,5	0,17	30,46	1,70	6,48	92,1	26	0,012	0,003	0,4158792	16,2	1,04
Wh11	mai	S	162,5	0,17	29,64	1,08	6,60	84,18	25	0,112	0,008	0,2772528	10,25	0,86
Wh11	juin	S	162,5	0,17	30,28	3,87	6,72	83,33	21	0,108	0,010	0,2772528	8,47	0,35
Wh12	Mars	S	101,4	0,11	28,85	3,58	6,81	70,15	14	0,005	0,000	0,2772528	5	3,75
Wh12	avril	S	101,4	0,11	28,83	2,06	6,12	75,53	17	0,013	0,007	0,1386264	4,75	2,15
Wh12	mai	S	101,4	0,11	29,58	2,09	6,20	83,4	19	0,081	0,029	0,1386264	2,37	1,17
Wh12	juin	S	101,4	0,11	28,58	2,92	6,39	87,63	15	0,075	0,031	0,0693132	0,95	1,2

